

**EVALUACIÓN DE LOS PROCESOS QUE CONTROLAN LA PROGRADACIÓN DE  
LA BARRERA COSTERA DE LAS PLAYAS DEL PARQUE NACIONAL NATURAL  
TAYRONA**

LAURA CAROLINA PADILLA JIMÉNEZ



**Corporación Universidad de la costa, CUC**

**Departamento civil y ambiental**

**Programa de Ingeniería Ambiental**

**Barranquilla, Colombia**

**2020**

**EVALUACIÓN DE LOS PROCESOS QUE CONTROLAN LA PROGRADACIÓN DE  
LA BARRERA COSTERA DE LAS PLAYAS DEL PARQUE NACIONAL NATURAL  
TAYRONA**

**Para obtener el título de Ingeniero Ambiental**

**TESISTA:**

Laura Carolina Padilla Jiménez

**Director del Trabajo de grado**

Rogério Portantiolo Manzoli

**Co-directora del trabajo de grado:**

Luana Carla Portz

**CORPORACIÓN UNIVERSIDAD DE LA COSTA CUC**

**Departamento civil y ambiental**

**Programa de Ingeniería Ambiental**

**Barranquilla, Colombia**

**2020**

**Dedicatoria**

*A mi primo Salomón Jiménez de quien espero su propia realización personal, a mi padre Mariano Padilla que siempre estuvo ahí para culminar mis estudios. También a mis parientes de la familia Jiménez Gonzales, a quienes quiero, me vieron crecer y me apoyaron para ser de mí una profesional, Así como a la persona que más me entiende en el mundo Samir Samuel miranda de la Rosa. Finalmente, a todos los entusiastas de la ciencia que con su pasión y trabajo han contribuido al desarrollo de nuevos conocimientos y a todos aquellos que me han apoyado de alguna forma a concluir esta investigación.*

**Agradecimientos**

*Muchas gracias a la Universidad de la Costa CUC por apoyarme con los recursos necesarios para llevar a cabo este proyecto de grado, a mis tutores Rogério Portantiolo Manzolli y Luana Carla Portz por su guía y dedicación, también agradezco el apoyo de la Escuela Naval de Suboficiales A.R.C. Barranquilla, y por último agradezco encarecidamente a todos aquellos que contribuyeron de alguna u otra forma a que pudiera realizar esta investigación.*

### Resumen

La mayoría de las playas del caribe colombiano presentan de forma muy marcada un balance sedimentario negativo que da como resultado la erosión de estas, aunque esta tendencia sea predominante en el litoral del caribe colombiano, el Parque Nacional Natural Tayrona (PNN-Tayrona) muestra un comportamiento opuesto con un balance sedimentario positivo que da como resultado la acreción y estabilidad en muchas de sus playas. Debido a la falta de información al respecto y al desconocimiento de las causas que favorecen a que se presente estas condiciones en esa zona protegida, el objetivo de esta investigación es evaluar los procesos controladores de la progradación de la barrera costera de las playas del PNN-Tayrona, Colombia. Para lo cual fue necesario la recolección de imágenes satelitales y de drone entre los años 2012-2018, así como la recolección de Coordenadas con un DGPS para su posterior geoprocesamiento con DSAS y otras herramientas informáticas. De lo anterior se encontró que de las playas que poseen mayor balance sedimentario positivo son Arenilla y Arrecifes, las playas que presentaron mayor balance sedimentario negativo fueron la Gumarra y Príncipe San Felipe. Particularmente la playa Piscina a pesar de estar ubicada al frente de una barrera coralina y al oeste de las playas que más resaltan por su acreción en los últimos años, presenta erosión. El estado morfodinámico que mayormente se presentan en las playas del área de estudio es el disipativo y la cuenca hidrográfica que tiene mayor aporte sedimentario en las playas es la del Rio Piedras.

***Palabras clave:*** acreción, erosión, DSAS, DGPS, balance sedimentario, estados morfodinámicos

### **Abstract**

Most of beaches in the Colombian Caribbean have a very marked negative sedimentary budget that results in their erosion, although this trend is predominant on the Colombian Caribbean coast. The PNN-Tayrona shows an opposite behavior with a sedimentary balance positive that results in accretion and stability in many of its beaches. Due to the lack of information in this regard and the ignorance of the causes that favor the occurrence of these conditions in that protected area, the objective of this investigation is to evaluate the controlling processes of the progradation of the coastal barrier of the beaches of the PNN-Tayrona, Colombia. For this, it was necessary to collect satellite and drone images between the years 2012-2018, as well as the collection of Coordinates with a DGPS for its subsequent geoprocessing with DSAS and other computer tools. From the above, it was found that the beaches with the highest positive sedimentary balance are Arenilla and Arrecifes. The beaches with the highest negative sedimentary balance were Gumarra and Príncipe San Felipe. Particularly the Piscina beach, despite being located in front of a coral reef and to the west of the beaches that stand out for their accretion in recent years, this one presents erosion. The morphodynamic state that occurs mostly on the beaches of the study area is dissipative and the hydrographic basin that has the greatest sedimentary contribution on the beaches is that of the Piedra River.

**Keywords:** accretion, erosion, DSAS, DGPS, sedimentary balance, morphodynamic states, dissipative

**Contenido**

Lista de tablas y figuras .....	9
1. Introducción .....	15
2. Planteamiento del problema.....	17
3. Objetivos .....	20
3.1 Objetivo general .....	20
3.2 Objetivos Específicos .....	20
4. Justificación .....	21
5. Estado del arte .....	22
6. Marco teórico .....	25
6.1 Parque Natural Nacional Tayrona .....	25
6.2 Clima .....	26
6.3 Suelos .....	28
6.4 Geología .....	32
6.5 Mete – Oceanografía .....	40
6.6 Estados morfodinámicos de las playas .....	54
6.7 Líneas de costa .....	62
7. Metodología .....	70
7.1 Área de estudio .....	70
7.2 Perfiles de playa .....	72
7.3 Variación de la línea de costa.....	75

7.4	Cuenca hidrográfica .....	78
8.	Resultados .....	80
8.1	Perfiles de playa .....	80
8.1.1	Piscina .....	80
8.1.2	Arenilla .....	83
8.1.3	Arrecifes.....	85
8.1.4	Príncipe San Felipe .....	87
8.1.5	Piscinita.....	89
8.1.6	Cañaveral .....	91
8.2	Variación de la línea de costa.....	94
8.2.1	Piscina .....	94
8.2.2	Arenilla .....	97
8.2.3	Arrecifes.....	99
8.2.4	La Gumarra .....	101
8.2.5	Príncipe San Felipe .....	103
8.2.6	Piscinita.....	105
8.2.7	Cañaveral .....	107
8.3	Cuenca hidrográfica .....	110
9.	Discusión.....	112
10.	Conclusión .....	119
11.	Recomendaciones .....	121
12.	Referencias.....	122
13.	Anexo.....	139



## Lista de tablas y figuras

### Tablas

Tabla 6.1 Descripción de los horizontes de suelo del PNN-Tayrona .....	31
Tabla 6.2 Características de las playas del PNN-Tayrona. Parte 1 .....	37
Tabla 6.3 Características de las playas del PNN-Tayrona. Parte 2 .....	38
Tabla 6.4 Valores máximos de velocidad de asentamiento $\Omega$ y pendiente para los estados morfodinámicos de Wright et al. (1984) .....	56
Tabla 6.5 Definición de línea de costa según diferentes autores .....	62
Tabla 6.6 Factores naturales y humanos que influyen en la variación de la línea de costa en diferentes escalas de tiempo .....	69
Tabla 7.1 Numero de perfiles realizados por playas con su respectiva distancia promedio .....	73
Tabla 7.2 Pasos para la delineación automática de la cuenca utilizando imagen SRTM DEM con la ayuda de la herramienta de Hydrology en ArcGIS .....	79
Tabla 8.1 Información de los perfiles de la playa Piscina .....	81
Tabla 8.2 Información de los perfiles de la playa Arenilla .....	83
Tabla 8.3 Información de los perfiles de la playa Arrecife .....	85
Tabla 8.4 Información de los perfiles de la playa Príncipe San Felipe .....	87
Tabla 8.5 Información de los perfiles de la playa Piscinita .....	89
Tabla 8.6 Información de los perfiles de la playa Cañaveral .....	92
Tabla 13.1 Distancia aproximada entre cada perfil de la playa Piscina .....	139
Tabla 13.2 Distancia aproximada entre cada perfil de la playa Arenilla .....	139
Tabla 13.3 Distancia aproximada entre cada perfil de la playa Arrecifes .....	140
Tabla 13.4 Distancia aproximada entre cada perfil de la playa Príncipe San Felipe .....	140

Tabla 13.5 Distancia aproximada entre cada perfil de la playa Piscina.....	141
Tabla 13.7 Distancia aproximada entre cada perfil de la playa Cañaveral .....	141

## Figuras

Figura 1.1 Ubicación geográfica del Parque Nacional Natural Tayrona en el Departamento de Magdalena – Colombia. Fuente: (Autor) .....	16
Figura 6.1 Precipitación a lo largo del año en la ciudad de Santa Marta ubicada en el departamento de magdalena. Fuente: Hurtado Moreno et al., 2017 .....	28
Figura 6.2 Representación digital del relieve del departamento de Magdalena en la cual se visualiza las geoestructuras: cordillera y megacuena de sedimentación. Fuente: (Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Subdirección de Agrología, 2009) .....	32
Figura 6.3 Mapa de las provincias geotectónicas del macizo de la Sierra Nevada de Santa Marta modificado de (Tschanz et al., 1969). Fuente: (Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Subdirección de Agrología, 2009) .....	34
Figura 6.4 Configuración geodinámica del noroccidente suramericano (modificada de Audemard y Audemard, 2002; Trenkamp et al., 2002). BB: Bloque Bonaire, BPC: Bloque Panamá-Chocó, BM: Bloque Maracaibo, BNA: Bloque Norandino, FB: Falla de Boconó, FEP: Falla El Pilar, SFAO: Sistema de Fallas de los Andes Orientales, SFSMB: Sistema de Fallas de Santa Marta-Bucaramanga, SFOA: Sistema de Fallas de Oca-Ancón, MDG: Megacizalla Dolores-Guayaquil, SNSM: Sierra Nevada de Santa Marta. Fuente: (INGEOMINAS et al., 2008).....	35
Figura 6.5 Modelo conceptual de pivote de una viga de la corteza rígida propuesto por Montes et al. (2005). Fuente: Montes et al. (2005).....	36

Figura 6.6 Viento a lo largo del año en las subregiones que conforman la región Guajira

/Tayrona calculado con la NARR. Fuente: Ricaurte-Villota y M.L. Bastidas Salamanca (Eds.)

(2017)..... 41

Figura 6.7 Alturas significativas de las olas en las subregiones que conforman la región Guajira

/Tayrona calculado con datos extraídos de boyas virtuales. Fuente: Ricaurte-Villota y M.L.

Bastidas Salamanca (Eds.) (2017) ..... 43

Figura 6.8 Histograma de la altura significativa (Hs) de las olas en Santa Marta. Eje x:

Frecuencia relativa en porcentajes; Eje y: Altura de la ola en metros. A. Meses de Diciembre-

Marzo. B. Meses de Abril-Julio. C. Meses de Agosto-noviembre. Fuente:(François Thomas,

Nicolae Lerma, y Posada Posada, 2012)..... 43

Figura 6.9 Corrientes superficiales de la región tropical del atlántico oeste. Fuente: (DIMAR-

CIOH, 2009) ..... 45

Figura 6.10 Desplazamiento norte-sur de la zona de convergencia intertropical (ZCIT) en el

caribe colombiano en todo un año, lo subrayado en gris es la ZCIT, las flechas son los vientos

dominantes y las líneas punteadas son la presión media. Fuente: Franco-Herrera (2005) ..... 46

Figura 6.11 Anomalías de la temperatura superficial del mar en la región niño 3.4 para los años

1997-2015. Fuente: (UNGRD, 2016) ..... 48

Figura 6.12 Condiciones océano-atmosféricas en el pacífico tropical: A. La niña; B. Neutrales;

C. El niño. Fuente: (Euscátegui y Hurtado, 2011)..... 49

Figura 6.13 Anomalías en la precipitación positivas y negativas en la bahía de Santa Marta entre

1988 y 2001, con los periodos de tiempo en los que se presentó el evento niña (color fucsia) y el

niño (color azul). Fuente: Franco-Herrera (2005)..... 50

Figura 6.14 Índice ONI, en el cual se observan las fases cálidas (rojo) y frías (azul) de la TSM anormales en el océano pacífico tropical. Fuente: (Trenberth y National Center for Atmospheric Research Staff (Eds), 2019) .....	51
Figura 6.15 Índice ONI entre las fechas: enero de 1980 a febrero de 2018 con los picos donde se presentó el fenómeno de la niña (Azul) y el niño (Rojo) etiquetados con el mes y el año en que se presentaron. Fuente: (Trenberth y National Center for Atmospheric Research Staff (Eds), 2019) .....	52
Figura 6.16 Índice NINO3.4 (°C) durante el periodo 1950 - 2019. Fuente: (Dijkstra et al., 2019) .....	52
Figura 6.17 Proyección de aumento del nivel del mar para el año 2300. Fuente: Buchanan (2019) .....	54
Figura 6.18 Playa Disipativa según los estados morfodinámicos de Wright et al. (1984) . Fuente: (Úbeda, 2016) .....	57
Figura 6.19 Playa con Barra Longitudinal y Seno según los estados morfodinámicos de (Wright et al., 1984) . Fuente: (Úbeda, 2016) .....	58
Figura 6.20 Barra y Playa Rítmica según los estados morfodinámicos de Wright et al. (1984) . Fuente: (Úbeda, 2016) .....	59
Figura 6.21 Playa con Barra Transversal y RIP según los estados morfodinámicos de (Wright et al., 1984) . Fuente: (Úbeda, 2016) .....	60
Figura 6.22 Playa con Terraza de Bajamar según los estados morfodinámicos de Wright et al. (1984). Fuente: (Úbeda, 2016).....	61
Figura 6.23 Playa Reflectiva según los estados morfodinámicos de Wright et al. (1984). Fuente: (Úbeda, 2016) .....	62

Figura 6.24 Perfiles de erosión (A) y acreción (B). Fuente: (Arcilla Conejo y Jiménez, 1994) ..	64
Figura 6.25 Perfil de playa generalizado con los nombres de las formas y zonas principales que la conforman: (1) costa, (2) playa seca, (3) zona intermareal, (4) berma de invierno, (5) berma de verano, (6) zona de ascenso-descenso, (7) zona interior, (8) frente de playa. Fuente: (Afanador Franco et al., 2013) .....	65
Figura 7.1 Localización del área de estudio. Fuente: (Autor).....	70
Figura 7.2 Pasos realizados para obtener de los perfiles de playa del área de estudio. Fuente: (Autor).....	73
Figura 7.3 Metodología aplicada para levantar los perfiles de playa. A. Identificar punto de referencia; B. Definir los segmentos de la playa que serán medidos. Fuente: Navarrete-Ramírez, 2014.....	74
Figura 7.4 Pasos realizados para el uso de la herramienta DSAS en ArcMap®. Fuente: (Autor)	77
Figura 8.1 Perfiles de la Playa Piscina. Fuente: (Autor).....	82
Figura 8.2 Perfiles de la playa Arenilla. Fuente: (Autor) .....	84
Figura 8.3 Perfiles de la playa Arrecifes. Fuente: (Autor).....	86
Figura 8.4 Perfiles de la playa Príncipe San Felipe. Fuente: (Autor) .....	88
Figura 8.5 Perfiles de la playa Piscinita. Fuente: (Autor).....	90
Figura 8.6 Perfiles de la playa Cañaveral. Fuente: (Autor) .....	93
Figura 8.7 Variación de la línea de costa para la playa Piscina entre los años 2012 y 2018. Fuente: (Autor).....	96
Figura 8.8 Variación de la línea de costa para la playa Arenilla entre los años 2012 y 2018. Fuente: (Autor).....	98

Figura 8.9 Variación de la línea de costa para la playa Arrecifes entre los años 2012 y 2018.

Fuente: (Autor)..... 100

Figura 8.10 Variación de la línea de costa para la playa La Gumarra entre los años 2012 y 2018.

Fuente: (Autor)..... 102

Figura 8.11 Variación de la línea de costa para la playa Príncipe San Felipe entre los años 2012 y 2018. Fuente: (Autor)..... 104

Figura 8.12 Variación de la línea de costa para la playa Piscinita entre los años 2012 y 2018.

Fuente: ( Autor)..... 106

Figura 8.13 Variación de la línea de costa para la playa Cañaveral entre los años 2012 y 2018.

Fuente: (Autor)..... 109

Figura 8.14 Mapa con la delimitación de las cuencas hidrográficas con aportes en el área de estudio. Fuente: (Autor) ..... 110

Figura 8.15 Principales ríos con aportes en el área de estudio. Fuente: (Manzoli et al., 2020) 111

## 1. Introducción

El Parque Nacional Natural Tayrona (PNN-Tayrona) se encuentra ubicado en el distrito turístico, cultural e histórico de Santa Marta, en el departamento del Magdalena, Colombia, Ver en la *Figura 1.1*. Posee ecosistemas de bosque seco y matorral espinoso. Está bajo la jurisdicción de la Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales, que de acuerdo con la resolución 75 de 2011 tiene como misión “Conservar el mosaico ecosistémico terrestre y sus especies asociadas presentes en el Parque, que incluye el matorral espinoso, los bosques seco, tropical, húmedo, nublado y sus servicios ambientales” (Barbosa-Rojas et al., 2012).

De las 114.174.800 hectáreas que posee Colombia, solo el 16,07% está protegido bajo la figura de área de protección legal, es decir 18.348.745 hectáreas son protegidas por las leyes colombianas y el PNN-Tayrona hace parte de ese porcentaje de suelos del país que están protegidos contra la depredación ambiental del hombre bajo la figura de área de protección legal (Torres, 2015). De aquí la importancia de generar nuevos estudios que permitan la conservación de esta área protegida para evitar o mitigar los impactos negativos que pueda tener debido a la acción humana o de algún fenómeno natural que amenace el estado de conservación de la zona.

Dentro de la variedad de ambientes que posee el PNN-Tayrona están los litorales que, al ser un ecosistema con una compleja interacción entre los factores oceánicos y terrestres condicionados por acciones atmosféricas, hidrogeomorfológica, geológicas y antropogénicas son ambientes en constante movimiento (IDEAM, 2010).

Este tipo de ecosistema puede presentar tendencias erosivas o acumulativas producto de las modificaciones morfológicas del paisaje causadas por fenómenos regionales y locales. En el Caribe Colombiano la erosión está asociada con intervenciones antrópicas, ascenso del nivel del mar, fenómenos geológicos, cambios en las condiciones hidrodinámicas y falta de sedimentos

capaces de mantener o dar origen a nuevas playas (Rangel-Buitrago, 2009). Teniendo en cuenta que los elementos anteriormente mencionados pueden intervenir en los cambios morfológicos de una playa el objetivo principal de este estudio es evaluar los procesos controladores de la progradación de la barrera costera de las playas del PNN-Tayrona, Colombia.

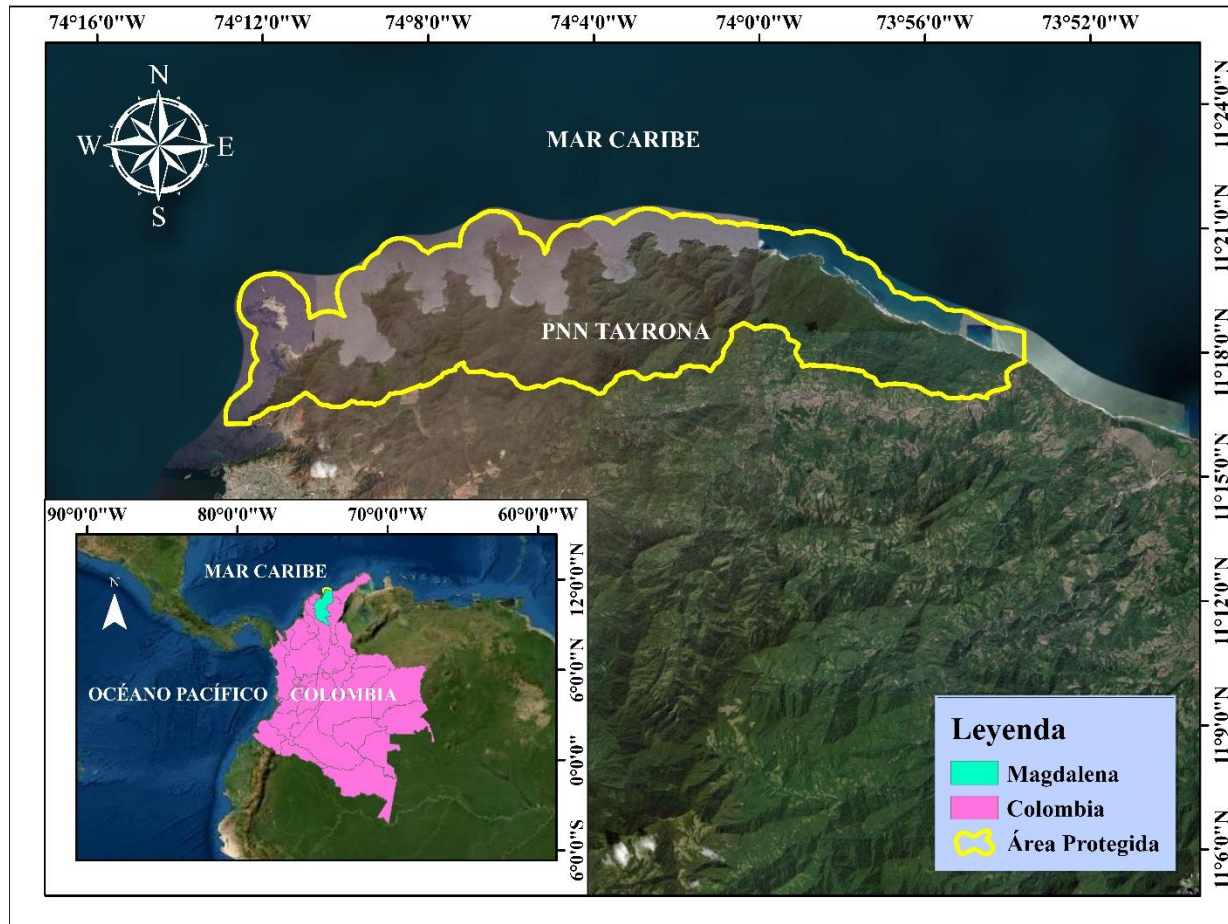


Figura 1.1 Ubicación geográfica del Parque Nacional Natural Tayrona en el Departamento de Magdalena – Colombia. Fuente: (Autor)



## **2. Planteamiento del problema**

De la superficie terrestre total la zona costera solo cubre un 10%, aun así cerca de 60% de la población mundial vive en estas zonas, además juega un papel importante en el desarrollo económico de muchos países (Thanh et al., 2019).

Las playas son un ecosistema dinámico debido a que es un ambiente de transición tierra-océano, expuesto a factores como el viento, las olas, mareas y la variación del nivel del mar, determinando así cambios morfológicos en función que se mantenga un equilibrio entre la cantidad de sedimentos que salen del sistema y la cantidad que llega (Ibarra y Belmonte, 2017).

El balance de sedimentos puede cambiar todos los años de forma natural por ejemplo a través de ocurrencia de temporales pero suele compensarse con periodos de sedimentación durante el mismo año (Wright et al., 1984), cuando este balance sedimentario está próximo a cero indica que los procesos de sedimentación y erosión están compensados, en el caso de ser negativo es indicativo que predomina la erosión y en el caso de ser positivo indica que predomina la acreción.

A predominancia de un balance sedimentario negativo en un periodo de tiempo largo, tenemos una condición de erosión siendo que bajo esas circunstancias se vuelve un riesgo costero (I.D Correa et al., 2009). Los factores causantes de erosión pueden dividirse en dos tipos, naturales y antropogénicos. Los primeros se relacionan con el tipo de sustrato presente en el litoral, ya que, dependiendo de su dureza, en conjunto con la presencia de rocas meteorizadas, hacen de una zona más o menos propensa a la erosión. Mientras que los antropogénicos se relacionan a la extracción de arenas y guijos de las playas, la tala indiscriminada de mangle, la construcción de obras fijas en la zona intermareales, el dragado de ríos o plataformas marinas entre otras actividades humanas (Posada Posada y Henao Pineda, 2008).

La erosión costera puede también llegar a ser un proceso irreversible que ocasiona la pérdida de superficie de playa y afectar las edificaciones presentes en el litoral, impacta negativamente el turismo, la economía y recursos naturales del lugar (Rangel-Buitrago y Posada Posada, 2013). Estos procesos pueden dar lugar a acantilados litorales, plataformas de abrasión, rasas, arcos litorales, chimeneas litorales, disminución del ancho de la playa o retrogradación, mientras que los procesos sedimentarios pueden producir formas deposicionales como flechas, barras, tómbolos, islas barreras y aumento del ancho de la playa o progradación (Tarbuck et al., 2005).

En Colombia, la costa caribe presenta en total un 21% en alta erosión, 28% erosión, 33% estabilidad y 18% acumulación (Rangel-Buitrago et al., 2015). En términos generales, la erosión costera en Colombia parece estar fuertemente influenciada por procesos regionales naturales e inducidos por el hombre, como el aumento del nivel del mar, eventos extremos, suministro de sedimentos, desequilibrios sedimentarios inducidos antropogénicos y subsidencia (Stronkhorst et al., 2018).

A comienzos del año 2016 se construyeron en la costa caribe colombiana aproximadamente 1.484 estructuras duras como ingleses, muros de contención, rompeolas entre otros ubicándose la mayoría en ciudades turísticas. De estas estructuras cerca del 90 % no han tenido éxito, produciendo por consiguiente un blindaje costero, reducción de los suministros de sedimentos en áreas de corriente descendente, aumento de los procesos de erosión, generación de nuevos puntos erosión y deterioro de la calidad del paisaje costero (Rangel-Buitrago et al., 2017). Un ejemplo de los cambios morfológicos que pueden producir la erosión y la sedimentación está sucediendo con el sector Punta Sabanilla – Bocas de Ceniza – Las Flores en el cual hay una migración de una barra arenosa de noreste a suroeste llegando a depositarse estos

sedimentos en la Ciénaga de Mallorquín donde seguirán migrando al sureste hasta llegar al margen de la misma para depositarse, erosionando así las playas de Puerto Colombia (Vargas Cuervo, 2012).

Adicionalmente, otro punto importante del conocimiento de los procesos costeros es la importancia de manutención de la calidad del paisaje de las playas del PNN-Tayrona. Estas se clasifican en su mayoría, como zonas naturales extremadamente atractivos con valores de paisaje muy altos (Clase Tipo 1), (Rangel-Buitrago et al., 2013), en general, toda el área de estudio presenta un alto grado de conservación de sus paisajes.

Además, para tomar las respectivas acciones en la zona de estudio es necesario comprender en profundidad la dinámica de la costa, por lo cual, la recolección de información con técnicas confiables para actualizar mapas y cuantificar la tasa de retiro de sedimentos generarían los conocimientos que permitan diseñar estrategias viables de uso y protección del suelo (Kumer et al., 2015).

En este sentido la pregunta de investigación es:

¿Qué factores están provocando que las playas del Parque Nacional Natural Tayrona sufran de progradación y retrogradación?

### **3. Objetivos**

#### **3.1 Objetivo general**

Evaluar los procesos controladores de la progradación de la barrera costera de las playas del Parque Nacional Natural Tayrona, Colombia.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

- Determinar el estado morfodinámico de las playas del PNN-Tayrona a través de la fórmula del parámetro de escala de surf ( $\epsilon$ ) para identificar cuáles son los perfiles de playas que presentan los estados disipativo y reflectivo.
- Evaluar la variación de la línea de costa con la herramienta DSAS para definir el tipo de balance sedimentario en función las playas que presentan erosión y acreción del PNN-Tayrona.
- Generar un mapa de cuencas hidrográficas con influencia en el área de estudio por medio de las herramientas de Hydrology en ArcMap® para encontrar la mayor fuente de sedimentos de las playas del PNN-Tayrona.

#### **4. Justificación**

La progradación y retrogradación son dos procesos geológicos que se pueden presentar en los litorales, siendo un problema la retrogradación por los impactos negativos que puede causar al turismo y a las comunidades que habitan las zonas costeras si se presentan de forma pronunciada en los ecosistemas playeros, estos fenómenos tienen que ver con la acumulación o migración de sedimentos, sedimentando o erosionado el ancho de la línea de costa con el pasar del tiempo. En la actualidad no hay mucha información en las bases de datos que permitan determinar el patrón de transporte de los sedimentos en las playas del PNN-Tayrona y tampoco existen muchos estudios sobre los procesos erosivos de este parque natural de gran importancia a nivel nacional e internacional. Esta falta de información puede representar un gran problema en la planificación y gestión de las playas a futuro, debido a las modificaciones que tendrá la topografía por los patrones de migración de los sedimentos. Por esta razón se hace necesario estudiar los procesos que intervienen en la modificación de la morfología de las playas y el transporte de los sedimentos a través de mediciones con DGPS, capturas de imágenes recientes en el área de estudio así como recolección de imágenes satelitales, el procesamiento de los datos geográficos y de información para obtener el patrón de progradación y retrogradación, los estados morfodinámicos que predomina en el área de estudio y la identificación de las cuencas que aportan sedimentos al área de interés para el cual se tuvo en cuenta también el Río Piedras.

La importancia en el desarrollo de este estudio radica en aportar nueva información respecto al estado actual de las playas del PNN-Tayrona que permitan administrar mejor este ecosistema a parques nacionales naturales y tomar medidas que eviten que a futuro se vean afectadas las playas debido al patrón de migración de sedimentos presente en el área de estudio y sentar bases para que se desarrolle a futuro más investigaciones sobre esta área del conocimiento.

## 5. Estado del arte

La erosión costera es un problema creciente en los últimos 50 años en la costa caribe colombiana, aproximadamente el 50% de esta zona de gran importancia para el país está sufriendo procesos erosivos que dan como resultado la retrogradación de las playas, siendo los desequilibrios sedimentarios, olas extremas, elevación del nivel del mar y destrucción de ecosistemas naturales los factores que influyen para que se produzca dicha erosión (Rangel-Buitrago et al., 2017). En los últimos 30 años las actividades de turismo han crecido en la costa caribe colombiana en paralelo con la erosión costera. De la extensión litoral que tiene la costa caribe, 1.182 km sufre erosión, equivalente a un 48,3% de costa. Otros 812,6 km presenta estabilidad, lo cual equivale a un 33,2% de costa y 450,5 km está presentando progradación lo que equivale a 18,4% de costa (Rangel-Buitrago et al., 2015).

Ahora, de los 5.548 km de costa colombiana 2.733 km están situados en el mar Caribe y el 2.815 km por el océano Pacífico, de los cuales según el enfoque del Peligro Costero o por las siglas inglés de “The Coastal Hazard Wheel Approach” (CHW) hay un peligro entre alto y muy alto de erosión del 47% de la costa Caribe y un 23% en la costa Pacífica. Por otro lado 42% de la costa Caribe el cual corresponde a 934 km de esta franja costera acumula sedimentos y en el caso de la costa Pacífica el 59% lo cual equivale a 1.369 km de ese litoral (Stronkhorst et al., 2018).

Se proyecta para este siglo una tendencia de retroceso de la línea de costa, además han aumentado las amenazas por erosión costera en un 33% para la costa caribe y en un 27% para la costa pacífica (Ricaurte-Villota et al., 2018).

Los sitios donde se han registrado la mayor tasa de erosión por departamento son: Atlántico, el lado occidental del delta río Magdalena y en las playas de Puerto Colombia, en donde se encontró a lo largo de 6,5 km de línea de costa una tasa de erosión de 29,5 m/año en los

últimos 20 años; Bolívar, en las áreas de Playeta (2 m/año), Tierra Bomba (3 m/año) y zonas urbana de Cartagena 1,7 m/año; en la Guajira los lugares que presentaron mayor tasa de erosión fueron Dibulla (3 m/año), Camarones (2,3 m/año) y Riohacha (4 m/año); en Sucre, los sectores de San Bernardo y Berrugas (2 m/año); en Tolú, hay una zona que se ve afectada de forma crítica, es un tramo de 1 km de longitud con una tasa de erosión variable de 3m/año ; en Córdoba, en Puerto Rey y Punta Brava con valores de erosión que varían entre 90 m – 220 m, Punta de Broqueles es una de las áreas más críticas con una tasa de (56,6 m/año) a lo largo de 2 km; en Antioquia, Punta Sabanilla y el sector de Punta Arenas - Punta Caimán sus tasa máximas de retroceso son respectivamente de 3,4 m/año y 3 m/año, en los municipios de Zapata y Turbo y en las áreas de Punta Rey-Arboletes es de 30 m/año; en San Andrés y Providencia 39 % de sus costas están en la categoría de alta erosión, es decir el 11,2 km, el 24,4 % está en la categoría de erosión con 18,5 km, el 59 % está en la categoría de estabilidad con una longitud de 44,8 km y el 1,7% esta con acreción, es decir 1,3 km de costa, de los lugares afectados por la erosión en las islas, el área más crítica es San Luis con una longitud de 0,5 km y variaciones de su tasa de erosión con valores aproximados o iguales a 25 m/año; en Magdalena se ha observado tasas de retiro de sedimentos máximas de 15 m/año, en el sector entre Ciénaga y Tasajera se tiene una tasa de 3 m/año, la zona más crítica es el km 19 de la carretera Barranquilla/Santa Marta, con una longitud de 2 km se va visto afectada por equilibrio sedimentario provocado por acción antropogénica por el daño de los ecosistemas ciénaga grande de Santa Marta y el complejo lagunar pajarales, la tasa máxima alcanzada por esta carretera ha sido de 19 m/año (Rangel-Buitrago et al., 2015).

Los sedimentos (arena y grava) de las playas del Caribe Colombiano provienen de los ríos Atrato, Sinú, Magdalena y Ranchería, además de pequeños afluentes que arrastran material de la región andina y la erosión de segmentos rocosos granulares, en las zonas insulares de Colombia como lo son el archipiélago de San Andrés, San Bernardo, el Rosario y entre Cartagena y el extremo sur del golfo de Morrosquillo los suministros de sedimentos de sus playas son abundantes en materiales calcáreos, este material orgánico proviene de la erosión sub- aérea y marina del plio-pleistoceno de los últimos arrecifes de coral vivos (Rangel-Buitrago et al., 2015).

En el caso del sector que va del PNN-Tayrona hasta la desembocadura del río palomino, se han registrado avances de línea de costa en acantilados con retrocesos hasta de -8 m/año con algunos sectores con acumulación de sedimentos de 2,5 m/año. A pesar de esto no todos los sectores de esta área presenta alto grado de amenaza por erosión costera, muchos tienen riesgo medio, baja o muy baja (Ricaurte-Villota et al., 2018). Por lo que algunas de sus playas sufren de de progradación, un proceso geomorfológico en el que la línea de costa avanza hacia el mar y por tanto se empieza a colocar más ancha las playas, por lo que hay una mayor acumulación de sedimentos y una baja erosión o estabilidad donde no se registra avance o retroceso de la línea de costa.



## 6. Marco teórico

### 6.1 Parque Natural Nacional Tayrona

El PNN-Tayrona fue creado en el año de 1964, tiene un área geográfica terrestre de 12.599,52 hectáreas y un área geográfica marítima de 6.709,92 hectáreas (Parques Nacionales Naturales de Colombia, 2018).

Se localiza entre la porción oriente de Taganga y la desembocadura del río Piedras con el mar Caribe, en las coordenadas 11° 21' y 11° 15' 53" Norte y 73° 54' 06" y 74° 12' 32" Oeste (Carbonó-Delahoz y García-Q, 2010), Ver en la *Figura 1.1*, con una altitud que varía de 0 a 900 msnm (Parques Nacionales Naturales de Colombia, 2019).

La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) clasifica al PNN-Tayrona en la Categoría II: conservación y protección de ecosistemas (UICN, 2019a). El objetivo de esta categoría es “Proteger la biodiversidad natural junto con la estructura ecológica subyacente y los procesos ambientales sobre los que se apoya, y promover la educación y el uso recreativo” (UICN, 2019b).

En el año 1964 Publican la Resolución 191 del 1964 que declara y reserva como Parques Nacionales Naturales a 3 terrenos ubicados en el departamento de Magdalena. En el Acuerdo 4 del 24 de abril de 1969 se delimitan y reservan el lugar mencionado anteriormente llamándolo ahora PNN-Tayrona y aumentando a 3 hectáreas el área del terreno (Acuerdo No 4 del 24 de abril de 1969, 1969) y en la Resolución 292 del 18 de agosto de 1969 se aprueba este acuerdo por un estudio realizado por la extinguida Corporación Autónoma Regional de los Valles del Magdalena y del Sinú CVM y “*La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales en el Oficio de fecha 19 de junio de 1964, al emitir el concepto previsto por la Ley 2*

*de 1959, pronunció favorablemente*”. La resolución 26 del 26 de enero del 2007 adopta el Plan de Manejo de PNN-Tayrona que posee tres objetivos estratégicos dirigidos a la conservación, mitigación, generación, difusión de conocimiento y fortalecimiento de la capacidad administrativa y operativa del PNN (RUNAP, 2016).

## **6.2 Clima**

Las clasificaciones climáticas son sistemas que permiten identificar zonas climáticamente homogéneas en función de uno o más valores de indicadores que representan la magnitud del clima que se desea caracterizar. De acuerdo con esto existen varios tipos de clasificación climática las cuales son la genética que utiliza como parámetro los fenómenos atmosféricos que forman el clima, la empírica que estudia la manera en que se relaciona la distribución de la vegetación con el clima, la hidrológica que usa el balance hidrológico para determinar el tipo de clima de un lugar y la biológica que se fundamenta en los criterios que representan el bienestar humano.

En Colombia se utilizan las clasificaciones climatológicas Caldas Lang que es de tipo genética, Warren Thornthwaite de tipo hidrológica y Wladimir Koppen de tipo empírica. De acuerdo con la clasificación Caldas Lang al noreste del Parque se presenta un clima cálido semi húmedo con pequeñas áreas con templado semi húmedo, al noroeste cálido semiárido y más al noroccidente cálido árido. Según esta clasificación de Thornthwaite (1948) al noreste del PNN-Tayrona el clima en su mayoría es moderadamente húmedo con algunas áreas ligeramente húmedas, al noroeste subhúmedo húmedo, entre más se avance al noroccidente el clima va pasando de subhúmedo seco a semiárido. De acuerdo con la clasificación de Köppen (1936) el área protegida tiene dos tipos de clima, los cuales son al noreste tropical lluvioso de sabana con

invierno seco y al noroccidente seco semiárido (estepario) muy caliente (Hurtado Moreno et al., 2017).

La intensidad de lluvias de un lugar se puede clasificar según la zonificación por régimen pluviométrico el cual separa las zonas según los periodos de lluvia y temporada seca que presenten y la duración de esto, según esta zonificación el parque posee un régimen bimodal 1 (Mn1) este tipo de régimen indica que se poseen dos temporadas secas y dos con lluvia (Hurtado Moreno et al., 2017). La primera temporada seca es más marcada y se presenta de diciembre a abril y la segunda temporada seca es menos fuerte y ocurre de julio a agosto, estos periodos secos se caracterizan por presentar vientos alisios fuertes. Las temporadas de lluvia se presenta en cada semestre del año, la primera temporada de lluvia no es muy fuerte y se presenta de mayo a junio y la segunda temporada de lluvia sucede entre septiembre y noviembre, siendo está más fuerte, los periodos de lluvia presentan vientos de baja intensidad (PMPNN-Tayrona, 2006).

En el lado occidental del PNN-Tayrona la precipitación anual es de 800 mm y esta aumenta al oriente hasta llegar a unos 2.000 mm anuales (COLPARQUES, 2018). En la *Figura 6.1* se observa la distribución de lluvia por mes en Santa Marta, encontrándose la temporada con más precipitación en septiembre y en la que menos llueve en enero según la gráfica.

La intensidad de los vientos es un factor que determina tanto temporal como espacialmente el patrón de lluvias en el Parque. En las áreas del Parque con mayor influencia de los vientos, se presenta menor humedad, esto sucede al occidente y las áreas con menor influencia de los vientos presenta mayor humedad, esto sucede al oriente del Parque (PMPNN-Tayrona, 2006).

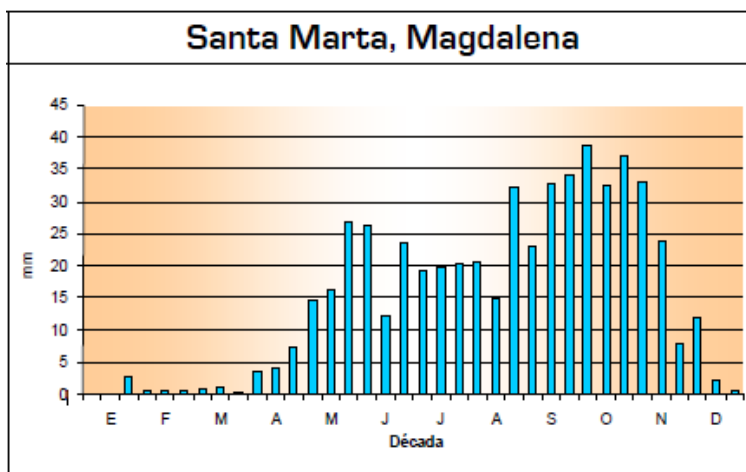


Figura 6.1 Precipitación a lo largo del año en la ciudad de Santa Marta ubicada en el departamento de Magdalena.  
Fuente: Hurtado Moreno et al., 2017

Al nivel del mar la temperatura promedio es de 27°C a 28°C, siendo 29°C en temporada seca y 23°C en temporada de lluvias (Rangel Buitrago, 2008). La temperatura promedio en las zonas elevadas del Parque es de 22°C (PMPNN-Tayrona, 2006).

El porcentaje de humedad relativa del Parque varía de 70 a 80 a lo largo del año, presentándose los valores más altos en periodo de lluvia y los valores más bajos en periodo seco. Entre los meses de junio y noviembre la velocidad media del viento es menor a 2,5 m/s, en el mes de diciembre y mayo la velocidad media del viento es mayor a 2,5 m/s y entre los meses de enero y abril la velocidad del viento es mayor a 3 m/s (Hurtado Moreno et al., 2017).

### 6.3 Suelos

De acuerdo con el *Estudio semidetallado de suelos del Parque Tayrona, departamento del Magdalena* (1975) el paisaje del Parque se divide en dos tipos: zona plana y zona de vertientes, en la primera zona también conocida como zona de deposición hay formaciones con influencia marina y diferentes orígenes aluviales, coluviales, coluvio-aluviales sin embargo en la zona de vertientes se encuentran colinas con materiales ígneos y metamórficos.

La clasificación taxonómica de los suelos según (Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Subdirección de Agrología, 2009) puede variar según el lugar al que se refieran en el PNN-Tayrona, por lo que existen varias clasificaciones en esta zona protegida. Al oriente del PNN-Tayrona se presenta la asociación Typic Dystrudepts – Typic Eutrudepts – Humic Dystrudepts con símbolo (MVC), estos suelos tienen alturas menores de 1000 metros, esta unidad está ubicada en paisajes de montañas con un relieve de lomas que va de moderado a fuertemente quebrado. Al occidente del PNN-Tayrona se encuentra la consorciación Lithic Torriorthents con Símbolo (MYA) esta unidad posee un paisaje de montaña con un tipo de relieve de lomas y colinas con presencia de afloramientos rocosos en los terrenos más altos. En general las dos primeras zonas mencionadas sufren de erosión hídrica laminar, la primera clasificación de ligera a moderada y la segunda clasificación de moderado a severo. Al norte del PNN-Tayrona se encuentra la Asociación Aquic Haplustepts – Typic Fluvaquents – Typi Quartzipsamments con símbolos (RWM), que posee un relieve que en algunas zonas son planos, ligeramente planos e inclinados.

De acuerdo con PMPNN-Tayrona (2006) en las propiedades físicas del suelo del PNN-Tayrona se ha encontrado un valor de densidad aparente cercanos a  $2,65 \text{ g/cm}^3$  lo que indica que hay buena porosidad, movimiento del agua por los perfiles e intercambio gaseoso. Entre los sectores de cabo San Juan del guía y la desembocadura del río Piedras las facies sedimentarias cambian de manera abrupta en espacios que son relativamente cortos en forma de mosaico, esto puede deberse al relieve escarpado de la zona. De manera general los sedimentos de textura más gruesa suelen distribuirse en las partes someras que se encuentran expuestas al oleaje y alrededor de las formaciones de coral, esta genera una cantidad de sedimentos bioclásticos apreciables de textura gruesa que está conformado por cascajo, escombros de coral, moluscos, equinodermos

entre otros y substrato duro conformado por gránulos, congregaciones de algas calcáreas y rocas sueltas. Se encuentran presentes en los acantilados, arrecifes y de manera aislada en áreas con talud y pendientes muy pronunciadas, sobre todo entre los sectores de cabo san juan del guía hasta cañaveral.

Respecto al uso de los suelos según el autor (Marriaga, 2009) las playas del PNN-Tayrona son un destino turístico muy visitado en temporadas altas y fines de semana, en especial bahía Concha, Chengue, Neguanje, playa del Muerto, el cabo San Juan del Guía, la Piscina, Arrecifes, Cañaveral y los Naranjos. Debido a la cantidad de visitantes en la temporada alta se hace necesario que el sistema de parques nacionales naturales controle el ingreso de los turistas para evitar alteraciones que estos puedan causarle a los ecosistemas. También se practica la pesca artesanal en la franja costera del parque, algunas playas en las que se realiza esta práctica son la ensenada Gayraca y la ensenada Neguanje por parte de familias que habitan en la zona y subsisten de esa forma. A continuación, en la

Tabla 6.1 se describen los horizontes de algunas zonas PNN-Tayrona:

Tabla 6.1

*Descripción de los horizontes de suelo del PNN-Tayrona*

Sector	Descripción
Consociación Rio Piedras (RP) <i>haplustoll</i> éntico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El primer horizonte de suelo presenta un espesor que va de 13 cm a 19 cm con una textura moderadamente gruesa y una reacción acida muy fuerte.</li> <li>- El segundo horizonte del suelo posee un espesor que va de 15 cm a 23 cm con una textura que es moderadamente gruesa y una reacción acida fuerte.</li> <li>- El tercer horizonte tiene un espesor que va de 32 cm a 55 cm de textura gruesa y reacción acida ligera, este se encuentra sobre un material de textura gruesa con reacción ligeramente acida.</li> </ul>
Consociación Arrecifes (AR) <i>haplustoll</i> típico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El primer horizonte de suelo tiene un espesor que va entre 12 cm y 20 cm con textura moderadamente gruesa y una reacción acida ligera.</li> <li>-El segundo horizonte de suelo tiene un espesor de entre 21cm y 28 cm con una textura moderadamente gruesa de reacción ligeramente acida.</li> <li>-El tercer horizonte del suelo tiene un espesor que va entre 25 cm y 50 cm con una textura que es moderadamente gruesa con gravilla con reacción ligeramente acida.</li> <li>-El cuarto horizonte un espesor que va entre los 40 cm o más con una textura gruesa que tiene gravilla y de reacción neutra, es decir no reacciona al HCl. Se encuentra sobre un horizonte sin estructura.</li> </ul>
Sector Cañaveral <i>ustorthent</i> típico	<ul style="list-style-type: none"> <li>-El primer horizonte de suelo tiene un espesor que varía entre 7 cm y 12 cm con una textura moderadamente fina y una reacción ligeramente acida.</li> <li>-El segundo horizonte del suelo tiene un espesor que va entre 12 cm y 20 cm con una textura moderadamente gruesa y con una reacción ligeramente acida sin reacción al HCl, tiene granito meteorizado.</li> </ul>

Nota: extraído y adaptado del libro *Estudio semidetallado de suelos del Parque Tayrona, departamento del Magdalena*. (1975). Recuperado de <http://catalogo.sgc.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=13638>

## 6.4 Geología

El departamento del Magdalena se divide en dos Regiones geológicas: Región Sierra Nevada de Santa Marta o cordillera y región megacuena de sedimentación, el PNN-Tayrona se encuentra ubicado en la región Sierra Nevada de Santa Marta al norte de la Sierra Nevada (Figura 6.2) (Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Subdirección de Agrología, 2009).

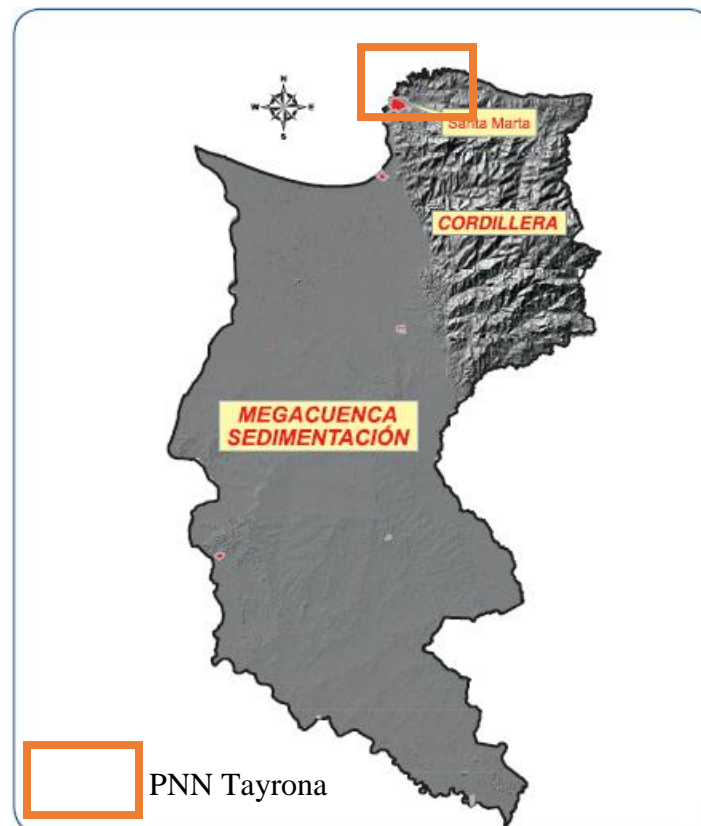


Figura 6.2 Representación digital del relieve del departamento de Magdalena en la cual se visualiza las geoestructuras: cordillera y megacuena de sedimentación. Fuente: (Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Subdirección de Agrología, 2009)

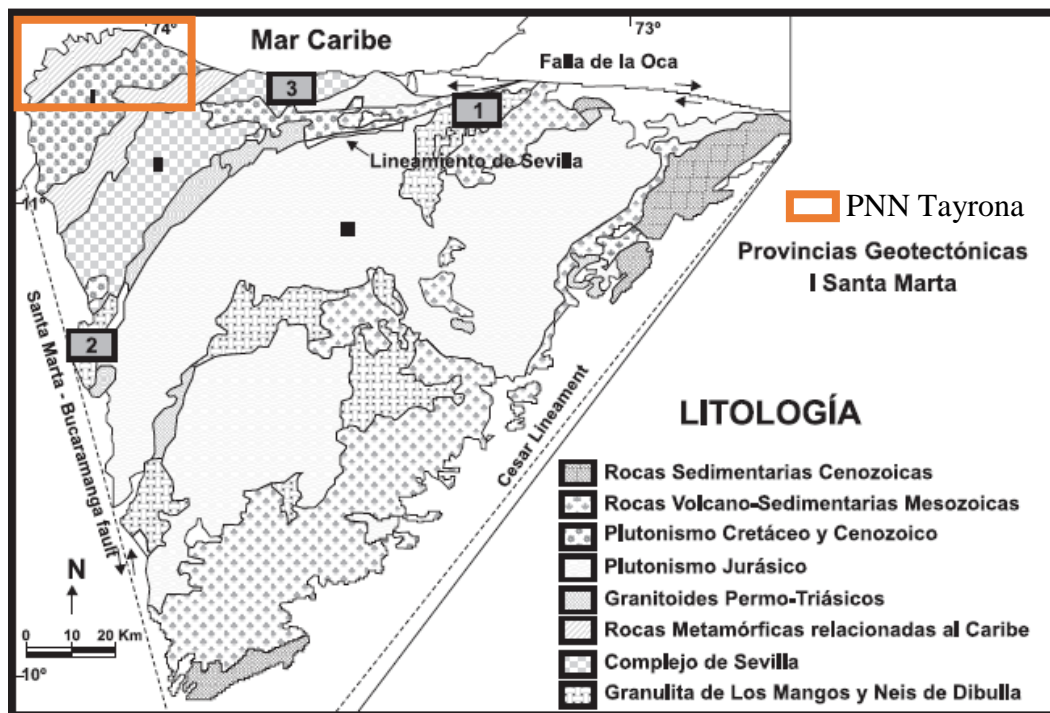


Dentro del PNN-Tayrona se encuentran aluviones, el batolito complejo de Santa Marta y los esquistos de Gaira (Rangel Buitrago, 2008). Alrededor de la Sierra Nevada de Santa Marta se encuentran afloramientos rocosos de tipo ígneo, metamórfico y sedimentario con edades geológicas que van de precámbrico a paleógeno y depósitos sedimentarios con edad geológica que varía y va desde el neógeno superior al cuaternario. Los depósitos aluviales del periodo cuaternario se encuentran en Magdalena en dos zonas, la primera es al occidente de la Sierra Nevada de Santa Marta entre el piedemonte y el litoral Caribe entre los municipios de Bosconia y Santa Marta, la fuente de estos depósitos son los ríos Fundación, Ariguaní, Sevilla, Orihueca, Frío y Córdoba, esta acumulación de material se caracteriza por tener una topografía suave conformada por arenas, gravas y guijarros con una matriz lodosa, la otra zona se encuentra ubicada entre los municipios de Guachaca y las inmediaciones de los caseríos de Monguí y Villa Martín, paralelo al flanco norte de la Sierra Nevada de Santa Marta, los aportes sedimentarios de esta zona provienen de los ríos Piedras, Mendihiaca, Guachaca, Buritaca, Don Diego y Palomino, los depósitos más importante en esta zona son los provenientes de los ríos Negro y Ancho que tienen valles más amplios en los cuales se depositan aluviones, este tipo de materiales pueden tener edades como holocena o incluso pleistoceno si su ubicación es relativamente elevada, el área correspondiente al PNN-Tayrona presenta tierras en estas dos zonas (INGEOMINAS et al., 2008).

El batolito de Santa Marta está conformado por rocas relativamente blandas que se meteorizan rápidamente, son uniformes, macizas y de naturaleza terrosa, (Marriaga, 2009). El neis de Buritaca se encuentra ubicado al occidente de la Sierra Nevada de Santa Marta y está formado por rocas metamórficas (Colmenares B. et al., 2007).

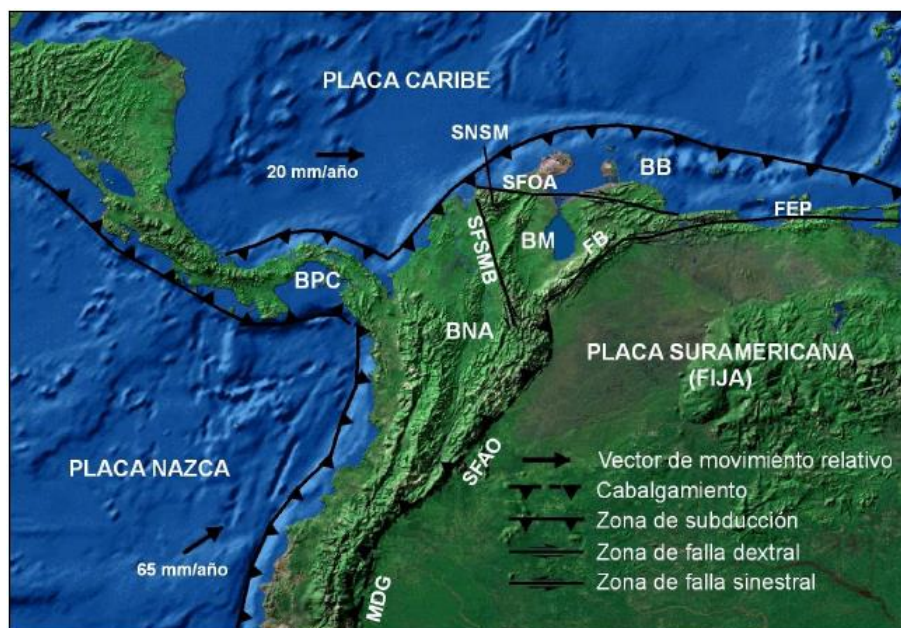
De acuerdo con la *Figura 6.3* se observa las diferentes composiciones litológicas que conforman el área correspondiente al PNN-Tayrona, incluyendo dentro de estas rocas metamórficas y rocas plutónicas del cretáceo y cenozoico.

La Sierra Nevada de Santa Marta está conformada por tres provincias geotectónicas las cuales son Sierra Nevada, Sevilla y Santa Marta, estas poseen un basamento cristalino característico y edades diferentes. La provincia geotectónica de la Sierra Nevada limita al este con el lineamiento de Cesar y al oeste con el lineamiento de Sevilla. La provincia geotectónica de Sevilla limita al este con el lineamiento de Sevilla y al oeste con la falla de Guachaca. La provincia geotectónica de Santa Marta limita al este con la falla de Guachaca y al noreste limita con la línea costera del caribe la cual presenta confluencia de las fallas de Bucaramanga – Santa Marta y la falla de la Oca, el PNN-Tayrona se encuentra dentro de esta provincia (Säenz-Reyes et al., 2017).



*Figura 6.3 Mapa de las provincias geotectónicas del macizo de la Sierra Nevada de Santa Marta modificado de (Tschanz et al., 1969). Fuente: (Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Subdirección de Agrología, 2009)*

El PNN-Tayrona está ubicado en una zona de interacción de tres placas tectónicas, las cuales son: al oeste la placa Nazca, al norte la placa Caribe y al sur la placa Suramericana como se observa en la *Figura 6.4*. La interacción y el desplazamiento entre estas placas provoca fenómenos de compresión – acreción y cizallamiento. Las placas de afinidad oceánica son la placa Nazca y la placa Caribe, mientras que placa de afinidad continental es la placa Suramericana. La placa Nazca se encuentra subduciendo a la placa Suramericana que termina desplazándose hacia el occidente debido a la expansión del fondo oceánico del Atlántico que se presenta desde el cretácico. Respecto al tipo de interacción que hay entre la placa Suramericana y la placa Caribe en la actualidad está en debate debido a su complejidad (INGEOMINAS et al., 2008).



*Figura 6.4 Configuración geodinámica del noroccidente suramericano (modificada de Audemard y Audemard, 2002; Trenkamp et al., 2002). BB: Bloque Bonaire, BPC: Bloque Panamá-Chocó, BM: Bloque Maracaibo, BNA: Bloque Norandino, FB: Falla de Boconó, FEP: Falla El Pilar, SFAO: Sistema de Fallas de los Andes Orientales, SFSMB: Sistema de Fallas de Santa Marta-Bucaramanga, SFOA: Sistema de Fallas de Oca-Ancón, MDG: Megacizalla Dolores-Guayaquil, SNSM: Sierra Nevada de Santa Marta. Fuente: (INGEOMINAS et al., 2008)*

Montes, et al. (2005) propone un modelo geodinámico conceptual el cual se puede observar en la *Figura 6.5* que intenta explicar el origen de la Sierra Nevada de Santa Marta y del

Valle Cesar - Ranchería a partir de la creación de una cuña sedimentaria simultáneamente al lado de una elevación un bloque de la corteza por equilibrio isostático. Debido a las características del terreno, es decir su ubicación en el norte de América del Sur la cual es una zona límite de placas donde la flotabilidad de la placa Caribe la cual tiene su origen como meseta oceánica del pacifico pudo haber proporcionado el mecanismo para la elevación de la SNSM y la creación en simultaneo de una cuña sedimentaria en el Valle Cesar - Ranchería, este modelo explica la anomalía de bouguer alta (anomalía de gravedad) de unos 170 mGals que se presenta en la SNSM así como su topografía y los estratos cretácicos superiores al noroeste de la SNSM con continuidad estructural con el Valle Cesar - Ranchería.

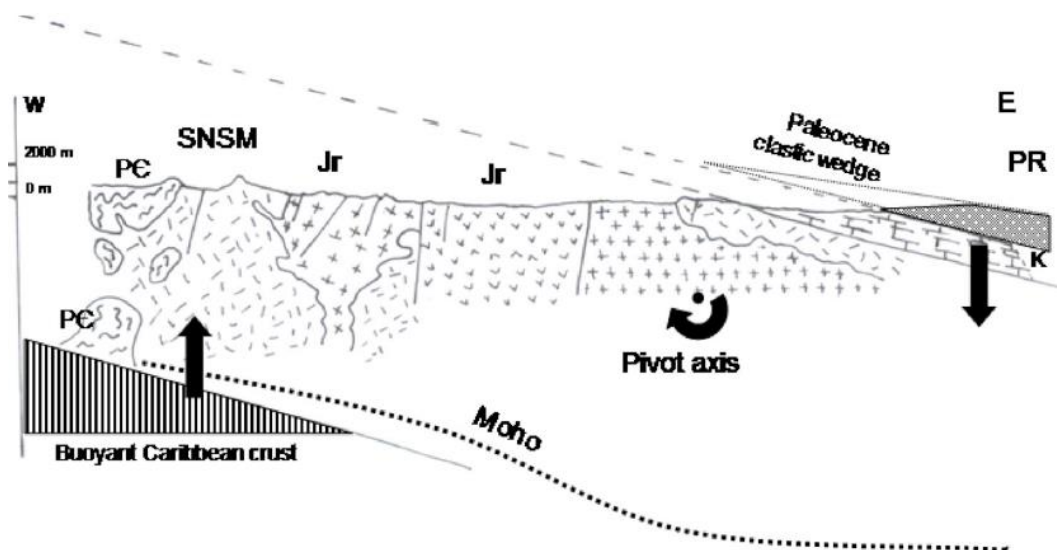


Figura 6.5 Modelo conceptual de pivote de una viga de la corteza rígida propuesto por Montes et al. (2005).  
Fuente: Montes et al. (2005)

De acuerdo con la “New Geologic” y evidencias petrográficas y radiométricas extraídas de la Sierra Nevada la tectónica de placas controla la evolución mesozoica del margen continental del Caribe. El surgimiento del macizo triangular de la Sierra Nevada de Santa Marta se debe al movimiento dextral y sinistral de 65 km y 110 km respectivamente en la Fallas de Oca y Santa Marta - Bucaramanga en el terciario y posterior a este evento la elevación de miles de metros

dando resultado su actual geomorfología. Este macizo triangular tiene tres terrenos metamórficos que difieren entre sí por su petrografía y geocronología los cuales están separados por los lineamientos de Sevilla y Cesar. El terreno más joven tiene tres cinturones metamórficos regionales con tendencia noreste, este y el segundo terreno metamórfico poseen plutones, el tercer terreno está conformado por Rocas Anfibolitas del precámbrico las cuales están cubiertas de filitas silurianas y rocas no metamorfoseadas del paleozoico y mesozoico (Tschanz et al., 1974).

En términos generales el relieve del PNN-Tayrona está conformado por colinas con material ígneo y metamórfico en su mayoría, solo una pequeña parte es ocupada por coluviones metamórficos al pie de las colinas. La zona plana del PNN-Tayrona tiene valles con influencia coluvial y/o aluvial con material sedimentario del Cuaternario provenientes de rocas ígneas y/o metamórficas. En algunos valles que tienen contacto con el plano marino se forman lagunas de colmatación detrás de las barras marinas. En términos geológicos abarca rocas metamórficas intrusivas provenientes del batolito de Santa Marta con unos 50 millones de años de edad, las costas arenosas están conformadas por 16.423 metros de playas conformadas por arenas expuestas a la acción continua del mar, al este del PNN-Tayrona los sedimentos de las playas son granos gruesos conformados por aluviones ígneos (PMPNN-Tayrona, 2006), en la Tabla 6.2 y Tabla 6.3 se podrá observar la constitución litológica de algunas playas del PNNT:

Tabla 6.2

*Características de las playas del PNN-Tayrona. Parte 1*

Constitución litológica	Playas	Largo (m)	Ancho (m)
	Castillete	1670	40
	Cañaveral	1020	30
	La gumarra	830	150
	Arrecifes	1164	35
	La piscina	891	9

Grano grueso	Cabo san juan de guía	186	12
constituídas por	La nudista	343	9
aluviones ígneos	Boca del saco	653	43

Nota: Información Extraída del PMPNN-Tayrona. (2006). PLAN DE MANEJO PARQUE NACIONAL NATURAL TAYRONA. Recuperado de <http://www.parquesnacionales.gov.co/portal/wp-content/uploads/2013/12/PMPNNTayrona.pdf>

Tabla 6.3

*Características de las playas del PNN-Tayrona. Parte 2*

Constitución litológica	Playas	Largo (m)	Ancho
Grano fino constituídas por rocas metamórficas	Playa brava	443	65
	Palmarito	331	8
	Guachaquita	264	25
	Principal de cinto	1163	16
	Playa del muerto	482	67
	Playa del pozo	414	49
	Principal de Neguanje	891	45
	Playa brava de Neguanje	500	34
	Principal de Gayraca	565	18
	Playa del Medio	405	18
	Playa del amor	270	26
	Chengue	986	27
	Macuaca	334	17
	Principal de Concha	1019	30
	Bonito Gordo	435	36

Nota: Información Extraída del PMPNN-Tayrona. (2006). PLAN DE MANEJO PARQUE NACIONAL NATURAL TAYRONA. Recuperado de <http://www.parquesnacionales.gov.co/portal/wp-content/uploads/2013/12/PMPNNTayrona.pdf>

El sector Guachaca-Cabo San Juan tiene una orientación Noreste y posee acantilados del batolito de Santa Marta que producen relieves de colina aislada y en algunas ocasiones colinas continuas y altas entre los ríos Piedras y Cañaveral. En el pie de los escarpes hay playas

estrechas con pendientes suaves y arena de tamaño de grueso a medias, excepto en Cañaveral, arrecifes y cabo San Juan donde la playa se hace más ancha gracias a los valles coluvio-aluviales que vuelven el terreno más suave. La unidad montañosa tiene una elevación de 550 metros de altura sobre el nivel del mar con una orientación NE/E-W, la falla Jordán afecta esta unidad montañosa que posee acantilados con paredes subverticales que tienen desprendimiento de bloques propiciado por el alto grado de diaclasamiento que presenta la roca, el choque de las olas en el pie del talud y la escorrentía. Presenta playas con contornos semicirculares llamadas también playas de bolsillo que se encuentran entre las salientes que van de cabo San Juan del Guía al Río Piedras, en estas se incluye las playas de Cañaveral, Arrecifes y San Juan del Guía pertenecientes al PNN-Tayrona, dependiendo de los vientos o lluvias se puede presentar un mayor retroceso neto en las playas, en las que se ha presentado esto con mayor intensidad son en las playas de Cañaveral y de piscina, en las que el escarpe conformado por una pequeña terraza ha disminuido debido a la escorrentía (INGEOMINAS et al., 2008).

El PNN-Tayrona posee plataformas y barras arrecifales a lo largo del litoral, al igual que plataformas de abrasión en las ensenadas de Neguanje, Cinto y Guachaquita. En estas ensenadas al igual que en Bahía Concha poseen playas tipo bolsillo las cuales se formaron por acumulación de sedimentos producto de los cambios en la dirección de la deriva litoral en las ensenadas, las cuales limitan en sus laterales con rocas de material consolidado con un relieve de tipo lomas, colinas o llanuras costeras con pendientes altas (Afanador Franco et al., 2013). Otras ensenadas con este tipo de playa según Marriaga (2009) son Chengue, Gayraca, Palmarito, playa Brava y Cabo San Juan del Guía, en Punta Cañaveral se presentan playas de este tipo entre los promontorios y los tómbolos, desarrollados por la presencia de islotes que favorecieron la formación de playas.

La playa de Bahía Concha tienen un frente de playa con una pendiente de  $8^\circ$  con una amplitud media de 8 metros, la composición de su material sedimentario son arenas grises de grano fino a medio con feldespato, cuarzo y minerales pesados, en la Ensenada de Chengue el sedimento que conforma su playa angosta está compuesto por arena bioclástica blancuzca con restos de conchas y corales con tamaños que varían desde milímetros hasta los 5 centímetros, las playas de la Ensenada de Gayraca están conformadas por guijarros con clastos subangulosos y redondeados con tamaños que oscilan entre 0,5 centímetros a 10 centímetros, producto de la degradación de rocas metamórficas, presenta montículos de grava cada 3 metros. La Ensenada de Neguanje tiene varias playas entre las que está playa Brava con un largo aproximado de 550 metros y una pendiente en su frente de playa de  $4^\circ$ , el tipo de sedimento que la conforma son arenas de color gris con cuarzos, al este se encuentra otra playa con 1 kilómetro de largo conformada por arenas de color gris con un tamaño de grano fino con micas, cuarzo y minerales pesados, más al este después de esta playa se encuentran otras playas compuestas por arenas blancas bioclásticas, con restos de corales y conchas, la pendiente del frente de estas playas son de  $6^\circ$  y la ensenada del cabo tiene playas con arenas de grano grueso bien clasificados (Marriaga, 2009).

En la Sierra Nevada de Santa Marta se presenta un drenaje de tipo radial con corrientes que terminan desembocando en el mar a través de las bahías rocosas del PNNT o en llanuras aluviales bajas, muchos de estos drenajes suelen ser intermitentes y suelen nacer cerca de las costas a alturas menores a 2500 metros, además que son la principal fuente de sedimentos, entre estos están los ríos Piedras, Mendihuaca, Guachaca, Buritaca, Don Diego y Palomino (Rangel Buitrago, 2008).



## 6.5 Mete – Oceanografía

El PNN-Tayrona se encuentra ubicado dentro de la región oceanográfica Guajira – Tayrona que empieza en la ensenada del Gaira en el departamento del Magdalena y termina en la Alta Guajira, en el golfo de Venezuela. Debido a la geomorfología del terreno aledaño a la Sierra Nevada de Santa Marta el sector del PNN-Tayrona y la ensenada del Gaira presenta una plataforma continental que se estrecha, en este sector la dirección del viento es paralelo a la costa, produciendo una disminución de temperatura, dejando esta zona con valores de temperaturas más bajas respecto al resto del Caribe que viene siendo más cálido.

La dirección del viento a lo largo del año es noreste, el valor máximo de velocidad lo presenta en el mes de febrero, en abril y mayo empieza a disminuir la velocidad del viento, aumentando en junio y manteniéndose hasta julio, el cual es el mes con el segundo valor más alto de velocidad del viento. Entre agosto y noviembre el viento se relaja, presentándose los valores de velocidad del viento más bajo en el mes de octubre. En el PNN-Tayrona la velocidad del viento es la más alta en el primer trimestre del año en comparación con los demás sectores que están dentro de la zona oceanográfica Guajira – Tayrona, en la *Figura 6.6* se puede observar los patrones de viento a lo largo del año.

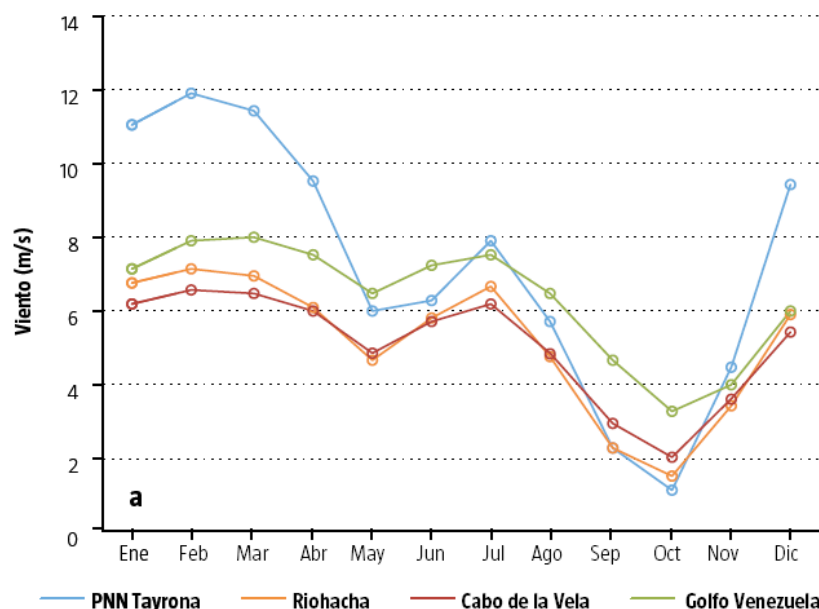


Figura 6.6 Viento a lo largo del año en las subregiones que conforman la región Guajira /Tayrona calculado con la NARR. Fuente: Ricaurte-Villota y M.L. Bastidas Salamanca (Eds.) (2017)

La salinidad en este sector es alta respecto al resto del caribe, sin embargo esta variable cambia a lo largo del año por los aportes de agua dulce en los meses de octubre y noviembre, presentando un comportamiento opuesto en la temporada de fuertes vientos, respecto a la temperatura superficial del mar (TSM), los valores más bajos los presenta de diciembre hasta abril, esto se debe a la intensidad y aumento de vientos en esos meses, en los meses que van de abril a junio, aumenta la TSM, manteniéndose esta tendencia hasta julio cuando empieza a disminuir de forma pronunciada la TSM, en el periodo que va de septiembre a octubre la TSM aumenta debido a la disminución de vientos en esos meses, presentándose en ese periodo los valores más altos de TSM, por lo que se puede decir que la variación de la TSM está relacionada con la intensidad de los vientos alisios.

La altura de las olas  $H_s$ , de acuerdo con la Figura 6.7 y teniendo en cuenta que el PNN-Tayrona está representado con el código BV14, entre los meses de diciembre y abril se observan las máximas alturas de olas, siendo febrero el mes con el pico más alto respecto al resto de boyas

ubicadas en la región oceanográfica Guajira-Tayrona, entre mayo y noviembre el comportamiento de las subregiones fue muy similares entre sí con alturas que van de 1 m a 1,8 m. En el mes de octubre todas las subregiones tienen tendencia a disminuir y es el mes con menor altura de olas, el sector correspondiente al PNN-Tayrona tiene los valores más altos en altura de olas a lo largo de todo el año, cabe mencionar que se mantiene un patrón similar de comportamiento tanto en el viento como con las olas las subregiones (Ricaurte-Villota y M.L. Bastidas Salamanca (Eds.), 2017).

De acuerdo con INVEMAR-GEO (2014) las corrientes dominantes van en orientación ENE a los 40 metros de profundidad y la dirección general de las corrientes superficiales y el viento es de este a oeste. El periodo, dirección y altura del oleaje están relacionados con el comportamiento del viento. En los meses donde estas presentan mayor frecuencia de estas son entre diciembre y marzo que corresponde a la época seca, con alturas de ola ( $H_s$ ) considerables van entre 1,6 metros y 2,0 metros, con una orientación dominante de NE, entre abril y julio que son épocas lluviosa menor y seco menor la altura de ola disminuye por lo que la ola que presenta mayor frecuencia esta entre 1,4 metros y 1,8 metros con un dirección NE, entre los meses de agosto y noviembre los cuales corresponden a la época lluviosa disminuye la altura de ola  $H_s$ , con unos valores de mayor frecuencia de 0,8 metros y 1,2 metros con una orientación SW, en la *Figura 6.8* se podrá observar la altura de las olas con su porcentaje de frecuencia.

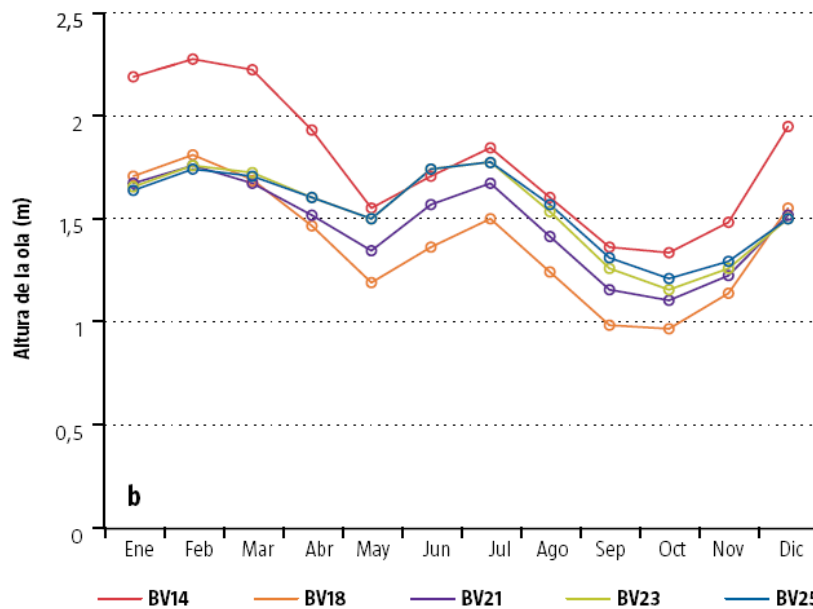


Figura 6.7 Alturas significativas de las olas en las subregiones que conforman la región Guajira /Tayrona calculado con datos extraídos de boyas virtuales. Fuente: Ricaurte-Villota y M.L. Bastidas Salamanca (Eds.) (2017)

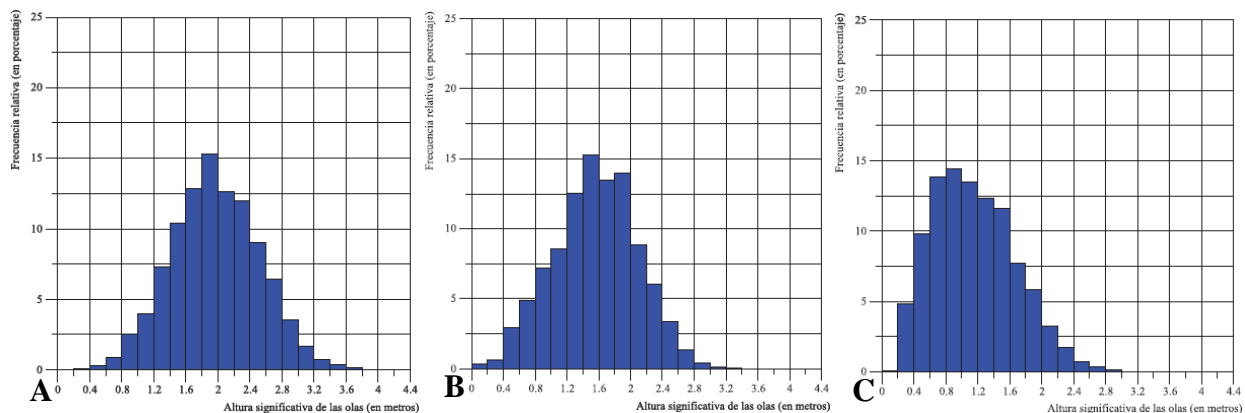


Figura 6.8 Histograma de la altura significativa ( $H_s$ ) de las olas en Santa Marta. Eje x: Frecuencia relativa en porcentajes; Eje y: Altura de la ola en metros. A. Meses de Diciembre-Marzo. B. Meses de Abril-Julio. C. Meses de Agosto-noviembre. Fuente:(François Thomas, Nicolae Lerma, y Posada Posada, 2012)

Los ciclos de las mareas son mixtos, semidiurnos y micromaréales con amplitudes que varían de 20-30 cm con intervalos de oscilación de pleamar (marea alta) que van de 10 a 14 horas con una frecuencia de 11,5 horas. El oleaje en el PNN-Tayrona es fuerte, presentando olas

de 1,5 metros de alto las cuales rompen a 20 metros de la costa de acuerdo a INGEOMINAS et al., (2008).

Al ser irregulares la forma en la que se presentan las mareas, surgen combinaciones de tipo diurno y semidiurnos, observándose en algunas ocasiones periodos con una sola marea alta y una baja en el día y en otras un cambio pronunciado en el cual se observan periodos con dos mareas altas diferentes y dos mareas bajas diferentes, en las cuales las mareas que son las más altas y más bajas se presentan más los periodos de marea diurna (PMPNN-Tayrona, 2006).

Las corrientes superficiales que predominan en la costa norte de Colombia son la corriente Caribe que se desplaza sobre la plataforma continental prácticamente todo el año en dirección E-W y la contracorriente de Panamá también conocida como contracorriente del Darién que ingresa por Panamá y avanza en dirección W-E en el borde de las costa colombiana. Dependiendo este de la intensidad de los vientos alisios, la contracorriente del Darién tiende a variar de forma estacionaria, las corrientes del Caribe oeste le ayudan a desplazarse al NE, el cual alcanza la desembocadura del río Magdalena en época seca, esta contracorriente consigue su máximo desplazamiento en época húmeda, llegando hasta la costa de la península de la Guajira (Rangel Buitrago, 2008).

La corriente Caribe empieza en las Antillas Menores, pasando por la costa de Venezuela en dirección noroeste, siguiendo al sur de las Antillas mayores, sigue hasta encontrarse con la elevación centroamericana, en el cual el 40% del caudal de la corriente termina recirculando a el caribe suroeste, continuando por la costa centroamericana en dirección sur sureste-este, creando así la contracorriente panamá – Colombia, en la *Figura 6.9* se puede observar el recorrido de la corriente caribe (DIMAR-CIOH, 2009).

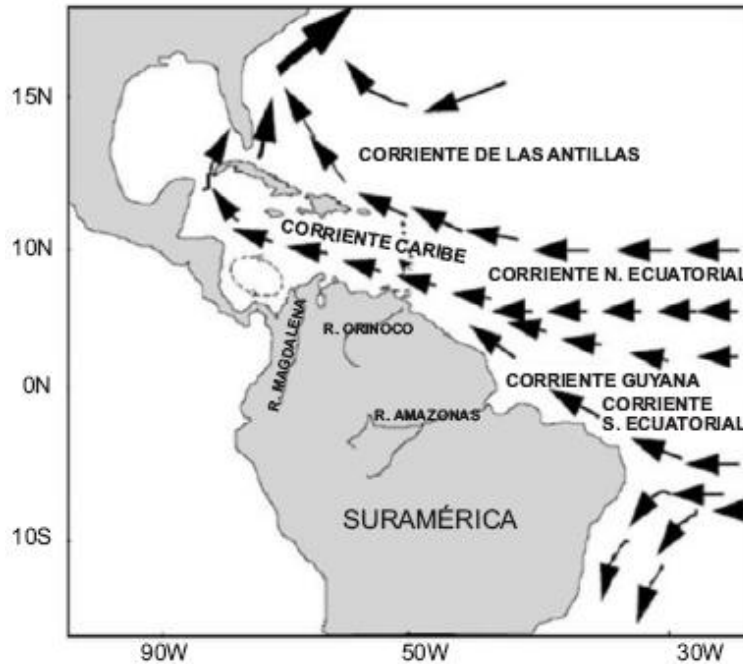


Figura 6.9 Corrientes superficiales de la región tropical del atlántico oeste. Fuente: (DIMAR-CIOH, 2009)

Los períodos climáticos en la región del Magdalena están determinados por unos patrones que influyen en la costa Atlántica Colombiana. El movimiento en dirección norte-sur de la zona de convergencia intertropical (ZCIT) es el que determina la época seca y de lluvia, algunos autores definen cuatro periodos climáticos teniendo en cuenta el desplazamiento de la ZCIT los cuales son: seca mayor de diciembre hasta abril la cual presenta mayor intensidad de vientos alisios, lluviosa menor de mayo a junio donde los vientos disminuyen su intensidad, seca menor de julio a agosto y lluviosa mayor de septiembre a noviembre. Cuando la ZCIT se mueve hacia el sur la región se ve influenciada por los vientos alisios del noreste los cuales son reforzados por eventos locales. Cuando la ZCIT se desplaza al norte, se presenta una disminución de la intensidad de los vientos alisios favoreciendo las precipitaciones en la región Franco-Herrera, (2005), en la Figura 6.10 se observa mejor el comportamiento de la ZCIT.

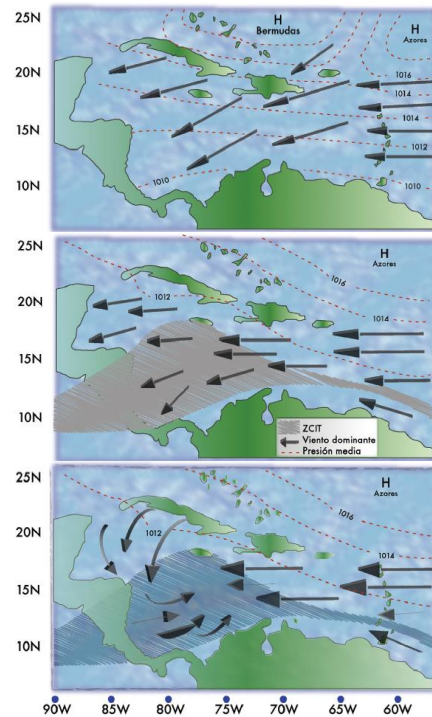
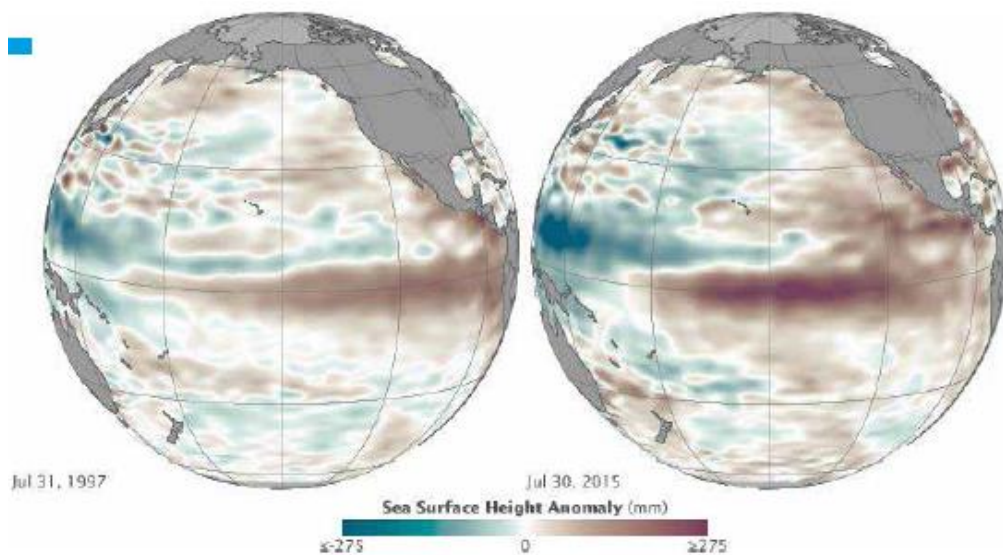


Figura 6.10 Desplazamiento norte-sur de la zona de convergencia intertropical (ZCIT) en el caribe colombiano en todo un año, lo subrayado en gris es la ZCIT, las flechas son los vientos dominantes y las líneas punteadas son la presión media. Fuente: Franco-Herrera (2005)

La interacción de la atmósfera con el océano es constante dentro del sistema climático por lo que se puede decir que el océano es el principal regulador del clima aunque la capa oceánica que interactúa con la atmósfera sea relativamente superficial en comparación con la profundidad media del océano la cual es 3,8 km, llegando a tener de profundidad esta capa superficial desde unas decenas de metros hasta unos cientos de metros dependiendo de la región y la época del año, cuando el agua de esta capa posee mayor temperatura que el aire, el océano calienta el aire que circula sobre él, produciéndose así un transporte de calor sensible entre el océano y la atmósfera aumentando conforme mayor sea la diferencia de temperatura, dependiendo también de la velocidad horizontal que tenga el viento, pasando el calor del océano a la atmósfera en función de esa velocidad. Al evaporarse el agua del mar se enfría perdiendo calor, humedeciendo este vapor el aire, produciéndose el transporte del calor latente el cual no se ve reflejado

enseguida en la atmosfera, estos dependen del viento, diferencia de temperatura y la humedad relativa, por lo que entre más seco se encuentre el ambiente mayor será la evaporación. La circulación de los vientos se ve afectada por la diferencia de presión del ambiente desplazándose el viento desde los lugares de mayor presión a los de menor presión atmosférica, interviniendo en la dirección de estos la rotación de la tierra, modificándose la velocidad de los vientos con el rose que tenga con la superficie oceánica y continental (Cadena y Rodriguez Castro, s/f).

De acuerdo con Franco-Herrera (2005) la presencia de eventos como el niño y la niña causan un descenso y aumento en la precipitación anual. Ahora según Montealegre (2014), dentro de la escala de variabilidad interanual en el océano pacifico tropical son posibles tres condiciones: El niño, Condiciones normales y la niña, sin embargo los ciclos conocidos como el niño y su fase opuesta la niña son las componentes oceánicas de la oscilación del sur ENOS el cual viene siendo la aparición de tiempo en tiempo de aguas superficiales relativamente calientes (El niño) o más frías (La niña) de lo normal en el pacífico tropical central y oriental frente a las costas de Perú, ecuador y sur de Colombia como lo muestra la *Figura 6.11*.



*Figura 6.11 Anomalías de la temperatura superficial del mar en la región niño 3.4 para los años 1997-2015. Fuente: (UNGRD, 2016)*



El ENOS es un fenómeno de interacción entre el océano y la atmosfera, por lo tanto, para que se presente requiere que ocurran cambios tanto en el océano como en la atmosfera, esto se conoce como “acoplamiento total”. (UNGRD, 2016). Según Montealegre (2014) los cambios producidos en la estructura térmica superficial y subsuperficial del océano por el niño y la niña están asociadas con la disminución (fase cálida) o aumento (fase fría) de los vientos alisios del este.

Cuando se presenta el fenómeno del niño las oscilaciones de presión atmosférica entre la parte del este ecuatorial y el oeste del océano pacifico tropical disminuyen la intensidad de los vientos alisios a tal punto que los reversan, llevando así agua cálida del oeste de la cuenca hacia el oeste, redistribuyendo las corrientes aéreas y zonas anómalas con exceso o déficits de lluvia (UNGRD, 2016). Cuando se presenta el fenómeno de la niña aumenta la intensidad de los vientos del este fortaleciéndose en el pacífico tropical adquiriendo valores por encima de lo normal, haciendo que las corrientes ascendentes de aguas frías en el mar se encuentren más cerca de la superficie que en condiciones normales en las costas de suramérica, esto hace que la temperatura superficial del mar (TSM) adquiera valores por debajo de lo normal, por tanto el fortalecimiento de los vientos del este hace que se acumule más agua sobre la zona oeste haciendo que el nivel del mar tome valores por encima de los registros normales en ese costado, mientras tanto en la zona oriental el nivel del mar empieza a disminuir adquiriendo valores por debajo de lo normal causando una inclinación de la termoclina por encima de lo normal, es decir aumenta su pendiente, para entender mejor esto cabe resaltar que la termoclina es la capa oceánica de transición entre la capa de mezcla que interactúa con la atmosfera y la capa de aguas profundas (Euscátegui y Hurtado, 2011), en la *Figura 6.12* se observa el comportamiento del fenómeno de la niña, el fenómeno del niño y las condiciones neutras.

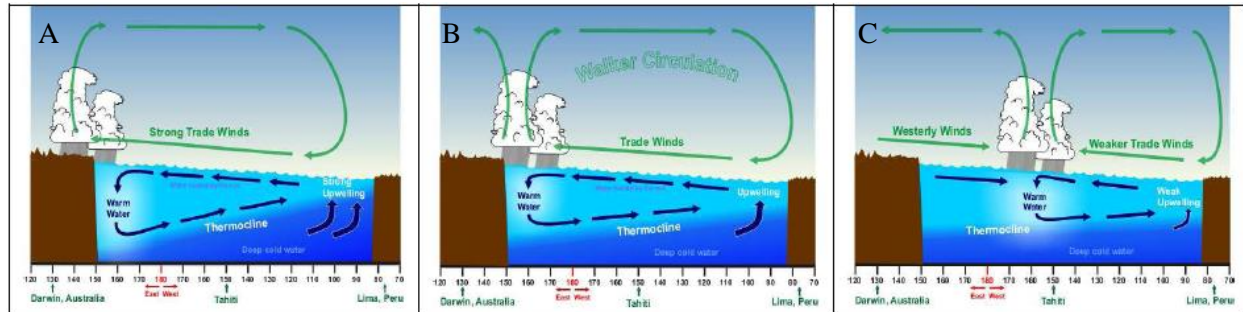


Figura 6.12 Condiciones océano-atmosféricas en el pacífico tropical: A. La niña; B. Neutrales; C. El niño. Fuente: (Euscátegui y Hurtado, 2011)

El niño en Colombia altera las corrientes de aire afectando el ciclo climático normal en el transcurso de un año, modificando las temporadas secas o de lluvias sin suprimirlas, normalmente acumula meses con sequia es decir “déficit hídrico”(anomalías negativas), el cual se presenta en la temporada seca, dependiendo de la intensidad del evento puede durar menos de un año, un año o más (UNGRD, 2016). La niña en el país produce un aumento considerable de la precipitación (anomalías positivas) y una disminución de la temperatura (anomalías negativas) en las regiones andina, caribe, pacífica y en los llanos orientales, mientras que en la orinoquia y amazonía estas variables tienen un comportamiento parecido al normal no siendo claro un patrón climático en estas zonas ante la presencia de un evento frío, Pero algunas temporadas de fenómeno de la niña pueden causar ligeros déficits de precipitación en la orinoquia, disminuyendo el nivel de los ríos en esa región en comparación con los promedios de las demás épocas , sucediendo algo similar en la amazonía colombiana (Euscátegui y Hurtado, 2011), en la Figura 6.13 se puede observar en que años se han presentado el fenómeno del niño y la niña con datos de precipitación.

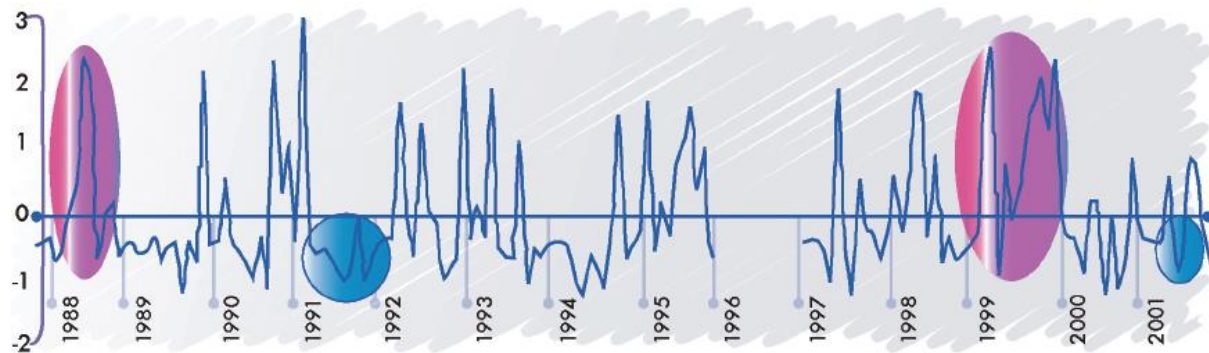


Figura 6.13 Anomalías en la precipitación positivas y negativas en la bahía de Santa Marta entre 1988 y 2001, con los periodos de tiempo en los que se presentó el evento niña (color fucsia) y el niño (color azul). Fuente: Franco-Herrera (2005)

El niño-oscilación del sur o simplemente oscilación del sur (ENSO) es un fenómeno cuasi periódico, por tanto tiene una recurrencia promedio cuatrianual que puede variar de dos a 7 años, teniendo esto en cuenta en el siglo XX los años en los que se presentó el fenómeno del niño son los siguientes: 1902, 1904, 1911, 1913, 1918, 1923, 1925, 1930, 1932, 1939, 1951, 1953, 1957-1958, 1963, 1965, 1969, 1972, 1976-1977, 1982 - 1983, 1986 - 1987 y 1991 - 1992, los años en los que se presentó el fenómeno de la niña fueron 1903, 1906, 1908, 1916, 1920, 1924, 1928, 1931, 1938, 1942, 1949, 1954, 1964, 1970 - 1971, 1973, 1975 y 1988 (Poveda y Mesa, 1996).

Para poder predecir el comportamiento del fenómeno el Niño-Oscilación del Sur ENOS existen varios índices, uno de ellos es, el índice oscilación del sur SOI, el cual esta estandarizado y se basa en la diferencia de presión al nivel del mar observadas en Tahití y Darwin, Australia, otro es el índice multivariado de ENOS (MEI) el cual mide parámetros oceánicos y atmosféricos observados en el Pacífico tropical, algunos de estos son la temperatura superficial del mar, la temperatura del aire en la superficie y fracción de nubosidad total del cielo. Otro es el Índice Oceánico del Niño ONI, en la Figura 6.14 se puede observar graficado este índice desde el año de 1950-2015 con la clasificación de la intensidad del fenómeno las cuales pueden ser: débil, moderado, fuerte o muy fuerte. En la Figura 6.15 el año 1950- 2018 con las fechas etiquetadas en

las cuales se presentó el fenómeno el niño y la niña (UNGRD, 2016). El cual según se calcula con la media de los tres meses del índice NINO3.4. En la *Figura 6.16* se observa el índice NONO3.4 proyectado desde el año 1950 hasta el 2019 (Dijkstra et al., 2019).

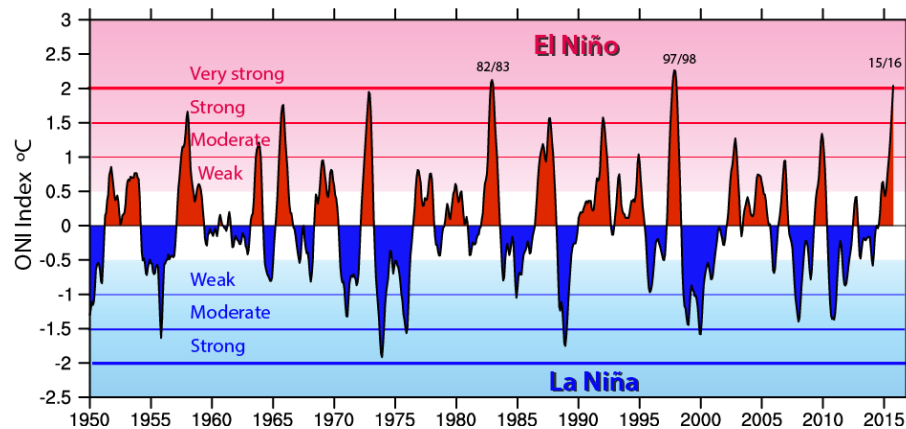


Figura 6.14 Índice ONI, en el cual se observan las fases cálidas (rojo) y frías (azul) de la TSM anormales en el océano pacífico tropical. Fuente: (Trenberth y National Center for Atmospheric Research Staff (Eds), 2019)

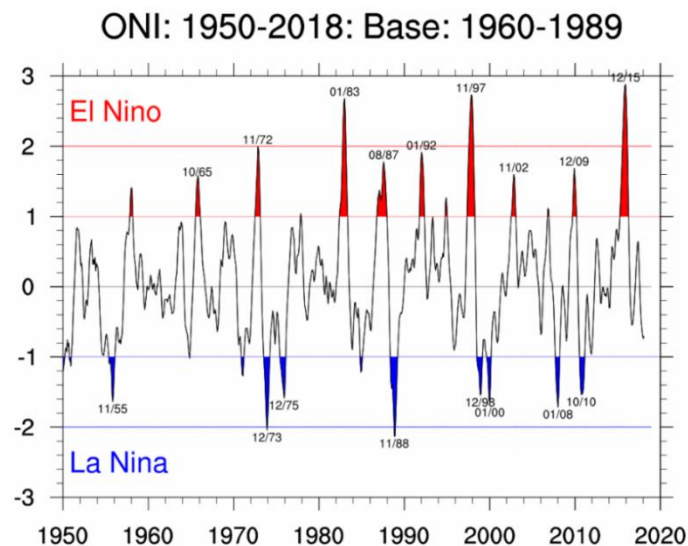


Figura 6.15 Índice ONI entre las fechas: enero de 1980 a febrero de 2018 con los picos donde se presentó el fenómeno de la niña (Azul) y el niño (Rojo) etiquetados con el mes y el año en que se presentaron. Fuente: (Trenberth y National Center for Atmospheric Research Staff (Eds), 2019)

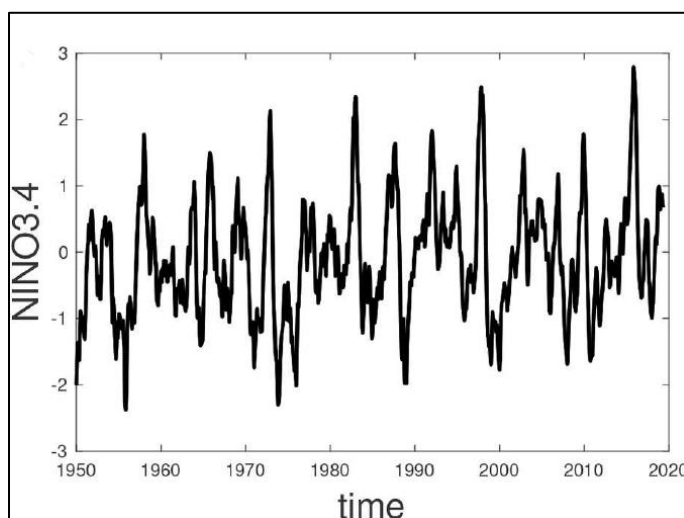


Figura 6.16 Índice NINO3.4 (°C) durante el periodo 1950 - 2019. Fuente: (Dijkstra et al., 2019)

Con el índice NINO3.4 se determina en qué periodo se presenta el fenómeno del Niño o la Niña si la TSM excede los  $\pm 0,4$  °C por un periodo de seis meses o más, en el caso del índice ONI para terminar en qué periodo se presenta el fenómeno del niño o la niña la anomalías deben exceder  $+ 0,5$  °C  $-0,5$ °C por lo menos durante 5 meses consecutivos (Trenberth y National Center for Atmospheric Research Staff (Eds), 2019).

Los fenómenos meteorológicos ocasionan cambios en la línea de costa (Rubio García, 2017), siendo los que producen erosión las mareas, oleaje fuerte, tormentas tropicales, huracanes, tempestades, mar de leva, el aumento relativo del nivel del mar, fuerte vientos y las actividades antrópicas que producen el aumento en la tasa de erosión, presentándose en el departamento del Magdalena en el Siglo pasado 7 tormentas y 9 huracanes, destacando por los daños ocasionados la tormenta tropical Bret en 1993 y el huracán César en 1996 (INVEMAR-GEO, 2014).

En el Siglo XX el nivel del mar aumento solo 15 cm, pero el ritmo de elevación actual del mar está más que duplicado con 3,6 mm anuales y no deja de aumentar la velocidad de aumento del nivel del mar que según la Figura 6.17 muestra una proyección del crecimiento del nivel del mar hasta el año 2300. Este indica que el nivel del mar seguirá subiendo durante siglos, teniendo

para el 2100 una elevación registrada aproximada de 30 a 60 cm, aun aunque se reduzca de forma drástica las emisiones de gases de efecto invernadero y el calentamiento global se mantenga por debajo de 2°C pero si sigue el aumento la emisión de estos gases el nivel del mar podría llegar a estar entre los 60 y 110 cm. El calentamiento global respecto a los niveles preindustriales aumento 1° C a causa de las emisiones de efecto de invernadero pasadas y actuales, los océanos han aumentado su temperatura calentándose, los glaciares y mantos de las regiones polares y de montaña están presentando fusión, lo cual produce perdida de su masa lo que provoca una aceleración en la subida del nivel del mar, expansión de las aguas cálidas en los océanos y que los fenómenos extremos costeros estén siendo cada vez más violentos, por lo que presentaran intensificación de los vientos y precipitaciones asociadas a los ciclones tropicales lo que agudizara los episodios de nivel del mar extremo (Oficina de prensa del IPCC, 2019).

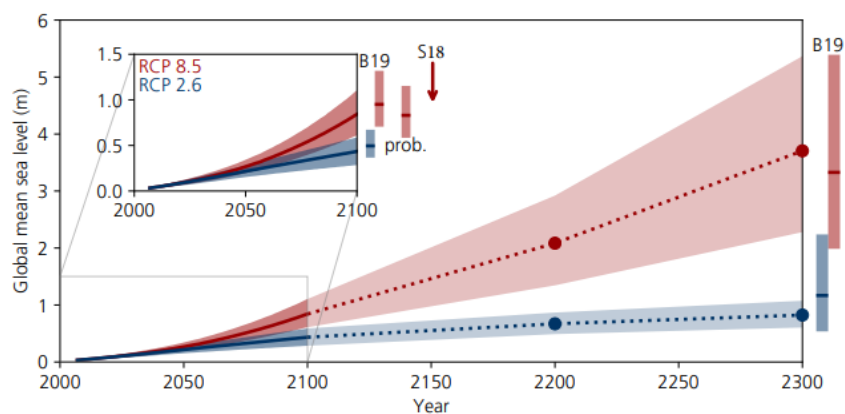


Figura 6.17 Proyección de aumento del nivel del mar para el año 2300. Fuente: Buchanan (2019)

Los riesgos relacionados con el aumento del nivel del mar en las costas bajas son la erosión, la inundación costera con mayor intensidad y frecuencia, la salinización de suelos, el drenaje impedido, la pérdida y cambios de los ecosistemas costeros. El aumento del nivel del mar medio y extremo puede amenazar las zonas costeras con peligros que incluyen la inmersión permanente de la tierra por niveles medios del mar alto o mareas medias altas y aumentar la

erosión costera. De acuerdo a las evaluaciones globales recientes sobre la erosión costera se ha encontrado que actualmente se presentan más pérdidas de tierra que ganancia de estas y se tiene estimado que entre 1984 y 2016 aproximadamente una cuarta parte de las playas de arena del mundo se están erosionando a una tasa mayor de  $0,5 \text{ m yr}^{-1}$ , mientras que solo un 28% se acrecentaron, aunque estos datos puedan ser cuestionados debido al umbral de detección relativamente grande que se usó el cual es de  $(\pm 0,5 \text{ m yr}^{-1})$  existe una literatura científica que indica que la erosión costera está ocurriendo o aumentando (Buchanan, 2019).

## 6.6 Estados morfodinámicos de las playas

El modelo propuesto por Wright et al. (1984) relaciona la morfología de las playas con la hidrodinámica, es decir el comportamiento del mar con el frente de playa, definiendo a partir de lo anterior los estados morfodinámicos de las playas, en los cuales su diferencia más evidente entre sí son las morfológicas. Aunque cada estado morfodinámico tiene una firma dinámica propia que diferencia a cada uno, esta fue determinada mediante análisis espectral de datos de presión, velocidad y superficie libre (Gutiérrez Gutiérrez, 2011). Por firma dinámica se entiende como condiciones propias de cada estado de la playa relacionado con la dinámica en la zona de rompiente como velocidad, dirección de las olas y cantidad de sedimentos transportados. Este movimiento del agua sobre el fondo se clasifica en cuatro categorías las cuales son:

- **Flujos oscilatorios debidos al oleaje incidente:** que se caracteriza por tener periodos de 1 a 25 segundos con oscilaciones que pueden poner los sedimentos en suspensión en la banda de frecuencias del oleaje que incidente en aguas profundas.
- **Flujos oscilatorios o casi-oscilatorios subarmónicos:** se deben a las ondas estacionarias y ondas de borde, con una frecuencia del orden de la mitad de la del oleaje incidente. Estos

flujos tienen un amplio intervalo de frecuencias, incluyen a las ondas de borde atrapadas y subarmónicas.

- **Corriente neta debida disipación de energía del oleaje:** son las corrientes longitudinales producidas por el oleaje, las corrientes de retorno y las corrientes de alimentación feeder.
- **Corrientes de origen independiente del oleaje:** son las corrientes producidas por el viento local y las corrientes marea (Ibarra y Belmonte, 2017).

Son seis los estados morfodinámicos de las playas propuestos por Wright et al. (1984) estos son playas disipativas, reflectivas que son los extremos de esta clasificación y las intermedias que según la tendencia del cambio de erosión a acreción se dividen en barra longitudinal y seno, barra y playa rítmica , barra transversal y RIP y la ultima de esta clasificación es terraza de baja mar. Se pueden definir en qué estado se encuentra una playa aplicando el modelo de Dean (1973), el cual permite determinar el parámetro adimensional de velocidad de asentamiento ( $\Omega$ ) con la siguiente formula:

$$\Omega = H_b / W_s T$$

Donde:

$H_b$  = altura de ola en rompiente (m)

$W_s$  = velocidad de asentamiento de la partícula ( $m s^{-1}$ )

$T$  = período de ola (s)

En términos generales cuando la velocidad de asentamiento  $\Omega$  es ( $\Omega > 6$ ) la playa es disipativas, ( $1 < \Omega < 6$ ) es intermedias y si ( $\Omega < 1$ ) es reflectivas (Cuevas Jiménez y Euán Ávila, 2009). La Tabla 6.4 se detalla mejor el valor según el estado morfodinámico de la playa para  $\Omega$  y la pendiente:

Tabla 6.4



Valores máximos de velocidad de asentamiento  $\Omega$  y pendiente para los estados morfodinámicos de Wright et al. (1984)

Estado	Valores de $\Omega$	Pendiente
Disipativo	$\Omega > 5,5$	$\tan \beta = 0,01$
Barra longitudinal y seno	$\Omega = 4,7$	$0,05 < \tan \beta < 0,1$
Barra y playa rítmica	$\Omega = 3,5$	$0,05 < \tan \beta < 0,1$
Barra transversal y corriente de retorno	$\Omega = 3,1$	$\tan \beta = 0,05$
Barra canaleta o terraza de bajamar	$\Omega = 2,4$	$0,1 < \tan \beta < 0,2$
Reflectivo	$\Omega < 1,5$	$0,1 < \tan \beta < 0,2$

Nota: Información encontrada en Peña Guerrero, M. (2017). Clasificación morfológica e hidrodinámica de las playas del caribe colombiano (universidad del norte). Recuperado de <http://manglar.uninorte.edu.co/jspui/bitstream/10584/7944/1/131551.pdf>

La fórmula del parámetro de escala de surf ( $\varepsilon$ ) propuesta por Guza y Inman (1975) permite determinar el estado de la playa con relación a la forma de las olas y su pendiente:

$$\varepsilon = \frac{a_b \sigma^2}{g \tan^2 \beta}$$

Donde:

$a_b$  = Amplitud de onda en el surf ( $H_b/2$ )

$\sigma$  = Frecuencia Angular de la onda incidente ( $2\pi/T$ )

$g$  = Aceleración de la gravedad

$\tan \beta$  = Pendiente del perfil de playa

Los valores del parámetro de escala de surf ( $\varepsilon$ ) por lo general son menores de 2,5 es decir  $\varepsilon < 2,5$  aunque en condiciones totalmente reflectantes lo cual es raro encontrar en la naturaleza los valores de  $\varepsilon$  son menores que 1 es decir  $\varepsilon < 1$ , esto quiere decir que entre más cercano sea  $\varepsilon$  de 1 más reflectivo será la playa y entre más lejos este de 1 menos reflectiva será y por tanto estará más cerca del estado disipativo (Calliari et al., 2003).

La playa disipativa (ver *Figura 6.18*) tiene un perfil que corresponde al perfil de invierno o perfil de temporal (Ibarra y Belmonte, 2017), se caracteriza por poseer una pendiente suave con

una zona de rompientes ancha que permite una disipación de olas eficiente junto con una o más barras con senos poco pronunciados, son prácticamente inexistentes las irregularidades longitudinales, estos rasgos favorecen a que se presente la rotura de la ola en descrestamiento o *spilling* que deja rastro blanco de espuma. Este tipo de playas normalmente tienen una zona de lavado o de *swash* muy ancha con altura de olas muy pequeñas en el frente de playas (Gutiérrez Gutiérrez, 2011).

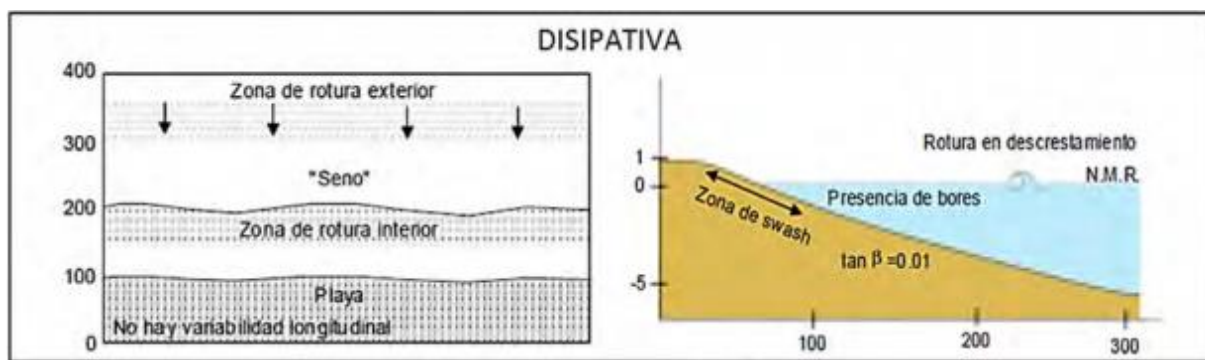


Figura 6.18 Playa Disipativa según los estados morfodinámicos de Wright et al. (1984) . Fuente: (Úbeda, 2016)

La playa con barra longitudinal y seno (ver Figura 6.19) son el primer estado de playa intermedia y el segundo en la secuencia de acreción, de esta clasificación es el más disipativo por tanto es el que tiene mayor energía y es el segundo estado en la secuencia de acreción, pose como mínimo una notoria barra longitudinal de perfil asimétrico con una pendiente pronunciada en la cual sucede la rotura del oleaje, el aumento de la profundidad en el seno hace que se recomponga el oleaje que termina rompiendo en el frente de playa, apareciendo así dos zonas de rompientes paralelas entre si y estrechas. La pendiente del frente de playa de este estado aumenta volviéndose así más reflejante, este cambio en el grado de inclinación hace que la rotura de oleaje se vuelva por lo general tipo *surging* o colapso. La altura del frente de playa es notoria y suele presentarse cúspides, también llamados media luna de playa, que son acumulaciones de arenas en forma de media luna alrededor de una depresión semicircular. La variabilidad

longitudinal de este tipo de playa es baja y poseen corrientes de retorno RIP muy débiles en la barra creciente, en la barra recta no se presenta (Gutiérrez Gutiérrez, 2011).

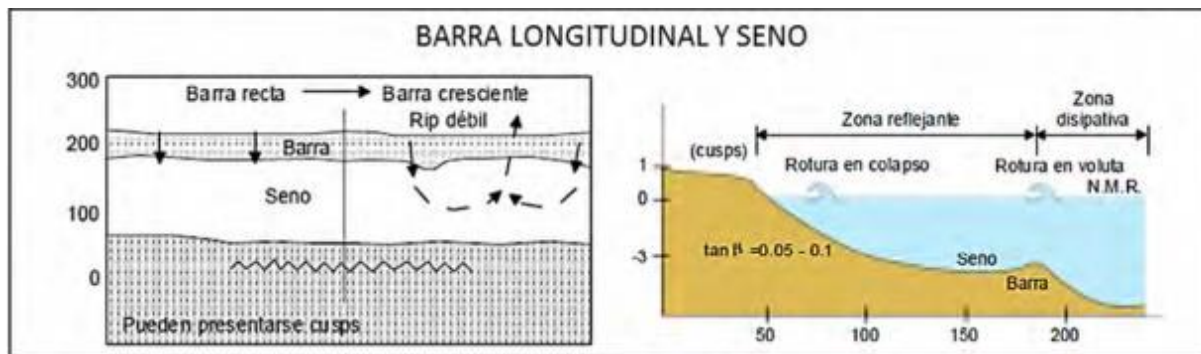


Figura 6.19 Playa con Barra Longitudinal y Seno según los estados morfológicos de (Wright et al., 1984).  
Fuente: (Úbeda, 2016)

El estado barra y playa rítmica (ver Figura 6.18) es el tercero en la secuencia de acreción y segundo en el estado intermedio, presenta ondulaciones que tienen tendencia más o menos periódicas de repetirse, es decir curvas cóncavas en el frente de playa y en el lado interno de la barra, las cuales son opuestas entre sí y están separadas por una saliente hacia el frente de playa (Ibarra y Belmonte, 2017), este tipo de forma en la barra se les llama *crescentic bars* o barras crecientes, la distancia entre las salientes del frente de playa y la barra son entre 200 o 300 metros, esta distancia es mayor en el estado de playa barra longitudinal y seno, por lo que se aprecia un desplazamiento de la barra hacia el frente de la playa, se presentan corrientes de retorno RIP que producen sistemas circulatorios rítmicos en la playa estas son más frecuentes y fuertes que en el estado barra longitudinal y seno, cuando la ola choca de forma oblicua, las celdas circulatorias dejan de ser simétricas y se produce una corriente paralela al frente de playa, esto hace que las barras tomen forma de “T” se fragmenten, pasando de ser longitudinal a transversal, cuando la ola es perpendicular se presentan corrientes de retorno RIP y las celdas circulatorias mantienen una forma simétrica, se presentan mega cúspides con tamaños

aproximados de 100 metros o más y estos pueden presentar cups en su saliente (Gutiérrez Gutiérrez, 2011).



Figura 6.20 Barra y Playa Rítmica según los estados morfodinámicos de Wright et al. (1984) . Fuente: (Úbeda, 2016)

La playa con barra transversal y RIP (ver Figura 6.21 ) es el cuarto en la secuencia de acreción y el tercero de estados intermedios, en este estado las barras y el frente de playa desarrollan formas transversales muy pronunciadas, de tal forma que terminan unidas las salientes opuestas de estos creando algo parecido a un puente fragmentado, las barras transversales generada pueden alternarse entre tener un perfil disipativo o un perfil más reflectante en zonas más profundas donde se concentran fuertes corrientes de retorno que son constantes, esto se extiende a lo largo de la playa y el lado externo de la barra está más cerca del frente de playa que en los estados anteriores (Gutiérrez Gutiérrez, 2011).

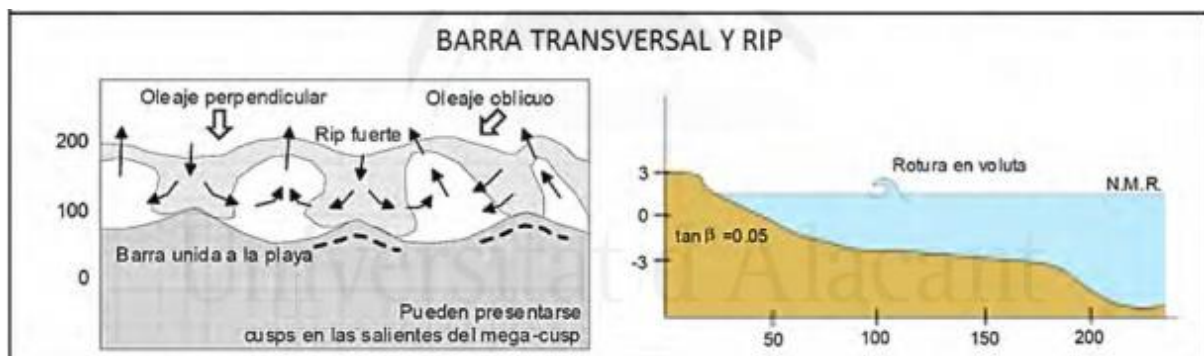
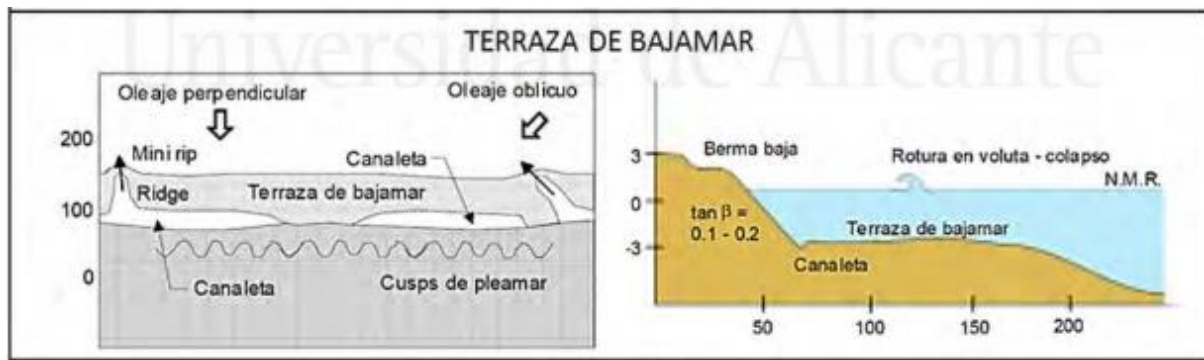


Figura 6.21 Playa con Barra Transversal y RIP según los estados morfodinámicos de (Wright et al., 1984) . Fuente: (Úbeda, 2016)

La playa con terraza de baja mar (ver *Figura 6.22*) es el quinto estado en la secuencia de acreción y el cuarto en los estados intermedios, la barra y el frente de playa están más cerca que en los estados anteriores, uniéndose en muchos tramos dejando pequeñas depresiones alargadas llamadas también canaletas (Ibarra y Belmonte, 2017), cuando el oleaje que incide en la barra es oblicuo la canaleta toma una dirección transversal y si el oleaje es perpendicular al frente de playa la canaleta es vertical, aunque hay tramos de la canaleta horizontales, en algunos tramos de la barra se presentan corrientes de retorno débiles, siendo así este estado el que posee menos energía de los estados intermedios y el penúltimo en la secuencia de acreción, en este estado la playa es un poco disipativa en bajamar y reflejante en pleamar (Gutiérrez Gutiérrez, 2011).



*Figura 6.22 Playa con Terraza de Bajamar según los estados morfodinámicos de Wright et al. (1984). Fuente: (Úbeda, 2016)*

La playa reflejante (ver *Figura 6.23*) es el último estado en la secuencia de acreción y se conoce también como perfil de verano. En este estado se une completamente la barra al frente de playa, haciendo parte de la berma, se caracteriza por poseer una pendiente muy pronunciada y frentes de playa estrechos que por lo general terminan en un escalón de playa conformado por materiales gruesos, esto aparece a una profundidad un poco alta que depende de la altura de la ola que incide, en esta parte del perfil la pendiente de la playa disminuye un poco, las bermas de este estado de playa son muy definidas y en condiciones que implican más energía los cusps son pronunciados. El tipo de rotura de oleaje que se presenta en este estado es por colapso o por

oscilación, según (Ibarra y Belmonte, 2017) también puede producirse por voluta y dicen que en algunas ocasiones el tamaño de los granos pueden ser más gruesos en el frente de playa que en la playa sumergida, igual que las playas disipativas, las playas reflejantes poseen poca variabilidad longitudinal, pero la granulometría en este estado es más gruesa que en las playas disipativas (Gutiérrez Gutiérrez, 2011).

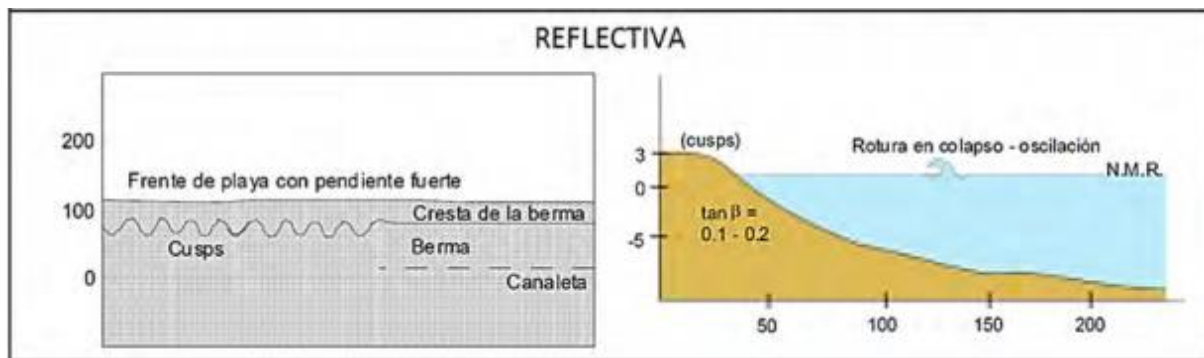


Figura 6.23 Playa Reflectiva según los estados morfodinámicos de Wright et al. (1984). Fuente: (Úbeda, 2016)

## 6.7 Líneas de costa

Existen muchas definiciones sobre línea de costa registradas en la literatura (Tabla 6.5). La definición que se utilizara para el desarrollo de este estudio fue la propuesta por Crowell, Leatherman, y Buckley (1991) la cual toma la línea de costa como una interfaz terramar en costas arenosas que tiene un notable cambio de tonalidad en las arenas de la playa en los límites de pleamares de sizigia.

Tabla 6.5

*Definición de línea de costa según diferentes autores*

Autor	Definición
Armada Española (2017)	Línea doble, de las cuales una corresponde a la línea de pleamar (marea alta) y la otra a la línea de bajamar (marea baja), delimitando la zona de transición entre la tierra y el mar en sentido horizontal, siendo la línea de pleamar una línea determinada por el avance máximo de la marea a tierra firme y la línea de baja mar es el punto en el que la marea tiene un mínimo avance sobre la superficie terrestre.

Kumer et al., (2015)	Línea de contacto entre la tierra y el cuerpo de agua en un instante de tiempo.
Ai et al., (2019)	El límite entre la tierra y el mar, mientras que se define oficialmente como el límite durante una marea alta de primavera promedio.
Fraile Jurado y Díaz Fernández (2018)	La línea de costa es el objeto geográfico de mayor dinamismo, debido a que es una zona de contacto entre la superficie emergida y la superficie marina.
Crowell et al., (1991)	Interfaz terramar en costas arenosas que tiene un notable cambio de tonalidad en las arenas de la playa en los límites de pleamares de sizigia.

Todas las definiciones de línea de costa mencionadas anteriormente tienen algo en común y es que coinciden en que la línea de costa es un límite entre el mar y la tierra, por lo que se puede decir que indica la erosión neta de la tierra y la deposición neta en el reino marino según (Ibáñez y Manríquez Cosio, 2011). Por tanto estas pueden estar en erosión, acreción o en equilibrio y esto pueden depender del alcance de las olas en la playa (Afanador Franco et al., 2013).

De acuerdo con Navarrete-Ramírez (2014) la erosión costera es la pérdida de terreno causada por la invasión del mar dado en un rango de tiempo lo suficientemente largo que permita descartar efectos producto del clima como temporales o cíclicos y la acreción costera se define como la sedimentación o acumulación de sedimentos y la consolidación del terrero por encima del nivel de las mareas. La tasa de erosión aunque se mide en Volumen/Longitud/ tiempo por ejemplo  $m^3/m/año$ , se suele utiliza para mostrar la velocidad de la disminución de la costa que por lo general se expresa en unidades  $m/año$ , esta velocidad de retroceso varía en función de muchos factores como el tipo de costa, la energía que tengan las olas y las mareas entre otros, llegando a ser desde unos centímetros hasta decenas de metros por año (CORIMAT, s/f).

En la *Figura 6.24* se puede observar la evolución natural de la playa dependiendo de la temporada climática, en invierno debido al oleaje de tormenta que posee una cantidad alta de

energía la línea de la orilla sufre un retroceso y el perfil se vuelve menos pronunciado transportándose la mayoría del material removido mar adentro en forma de barra sumergida, por lo que termina presentando erosión (A), en verano el oleaje tiene baja energía haciendo así que el sedimento erosionado que se depositó como barra mar adentro se mueva hacia la orilla de la costa produciendo así un avance de la línea de costa, dando como resultado ideal un perfil de acreción (B) sin barra con pendiente elevada y una berma amplia (Arcilla Conejo y Jiménez, 1994).

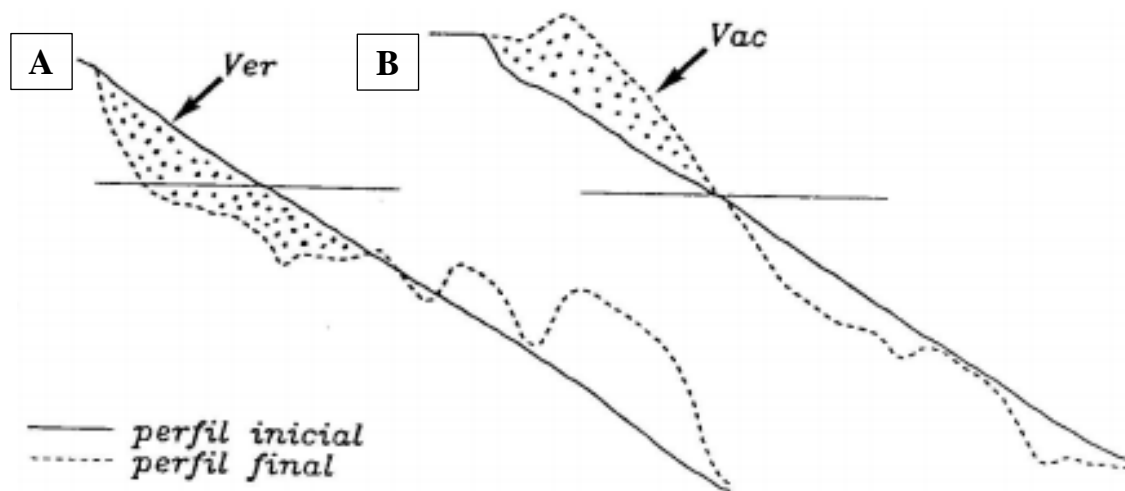


Figura 6.24 Perfiles de erosión (A) y acreción (B). Fuente: (Arcilla Conejo y Jiménez, 1994)

Según Lamolda (2000) la progradación costera es el desplazamiento de la playa hacia el mar, produciéndose cuando la erosión es baja y hay un aporte alto de sedimentos. Contrario a esto la retrogradación costera es la pérdida o disminución de playa, es decir hay avance del mar hacia la tierra perdiendo así superficie de tierra firme, esto sucede cuando la erosión es alta y los aportes de sedimentos son bajos (Universidad de Alcalá, n.d.).

En la Figura 6.25 se muestra un perfil de la zona costera con las partes que conforman una playa y la ubicación de la línea de costa que puede variar dependiendo de la definición que se use:



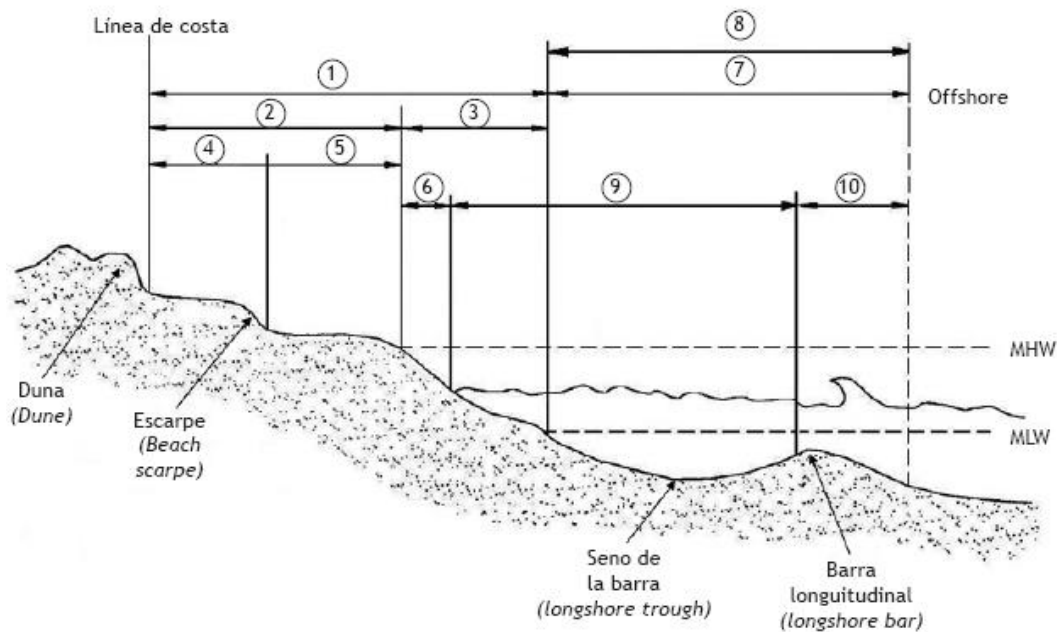


Figura 6.25 Perfil de playa generalizado con los nombres de las formas y zonas principales que la conforman: (1) costa, (2) playa seca, (3) zona intermareal, (4) berma de invierno, (5) berma de verano, (6) zona de ascenso-descenso, (7) zona interior, (8) frente de playa. Fuente: (Afanador Franco et al., 2013)

En las líneas de costa se forman perfiles transversales que de acuerdo a la regla de Bruun, para lapsos largos de tiempo la forma del perfil se mantiene, cambiando solo su posición. Son varios factores que intervienen para que la línea de costa cambie de posición, entre estos está la variación del nivel del mar que de acuerdo con Bruun (1962) cuando sube el nivel del mar el perfil se dirige hacia la tierra y asciende, cuando baja el nivel del mar el perfil se mueve al mar y descende, por tanto un cambio en el nivel del mar en escala de milímetros produce un desplazamiento en metros de la línea de costa Ávila Armella (2007).

De acuerdo con Codignotto (1997) los factores que moldean las costas se pueden dividir en cuatro grupos, en el primer grupo están los factores geológicos como la estructura en el sentido geomorfológico, en el segundo grupo están los factores propios del océano como las olas, corrientes y mareas, en el tercer grupo están los factores que son propios de un sector de la costa

como la acción eólica, fluvial y antropogénica, finalmente en el cuarto grupo se encuentran las oscilaciones a nivel del mar a nivel global como lo es el cambio climático global y a nivel local como lo es el tectonismo – volcanismo.

Otros factores que pueden producir cambios en la línea de costa son los geológicos, la sedimentación fluvial y marina, así como también las condiciones meteorológicas, oceánicas, las actividades socioeconómicas humanas y las represas artificiales Ai et al. (2019).

Los factores que causan cambios en la línea de costa según Thanh et al. (2019) se pueden dividir en dos grupos, factores internos en los cuales entran estructuras de la costa, dirección de la costa, material de revestimiento superficial, etc... y los factores externos que incluyen las condiciones naturales como las tormentas que pueden inducir erosión costera, los vientos que en combinación con las lluvias tienden a recoger y arrastrar arena y materiales de playas vulnerables, arrastrándola hacia otras áreas, flujo de agua, marea, olas, aumento del nivel del mar e intervenciones humanas como la deforestación, acuicultura, infraestructura, dragado, destrucción del bosque de mangle. Ahora de acuerdo a Bird y Lewis (2015) los factores que causan cambios en la línea de costa, tanto naturales como artificiales interactúan de manera compleja y por lo general funcionan combinados para ocasionar el cambio.

Según Rubio García (2017) las mareas, el oleaje y los fenómenos meteorológicos modifican el nivel del mar, es importante tener esto en cuenta, ya que los cambios que sufra el nivel del mar afectara la línea de costa. la forma en que las mareas actúan para modificar el nivel del mar es que al ser ondas muy largas que se propagan en el agua provocan una variación de altura en el del mar de manera periódica, en el caso de las olas, estas causan dos efectos que producen elevación del mar, el primero es que el agua se apila debido al empuje que ejercen las olas al avanzar hacia la costa produciendo una elevación conocida como apilamiento por oleaje o

*wave set up*, el segundo efecto viene siendo que al romper cada ola, adquiere un mayor alcance en el frente de playa que por lo general está acompañado de espuma blanca, la zona donde se presenta esto es conocida como zona de *swash*, estos dos efectos hacen que el nivel del agua en la costa sea mayor que en mar abierto. Una de las formas en la que los fenómenos meteorológicos puede afectar el nivel del mar son con los ciclones, estos hacen que la presión atmosférica disminuya provocando un acenso en el nivel del mar, es importante resaltar que cuando aumenta la presión atmosférica el nivel del mar disminuye, los ciclones también producen un fenómeno conocido como marea de tormenta o *storm surge* que se producen cuando el viento empuja el agua hacia la costa, produciendo un cambio en el nivel del mar, la elevación que producen las mareas de tormenta pueden variar dependiendo de las características del fondo marino y de la configuración de la costa.

Los procesos naturales de la playa también pueden afectar la posición de la línea de costa ya que según las condiciones que se presenten definirán la cantidad de sedimentos que serán transportados por el oleaje y corrientes, en el caso de los sedimentos si estos son gruesos y las corrientes no poseen la fuerza requerida para arrastrarlos, estos sedimentos serán depositados en el fondo mariano en cambio los finos estarán suspendidos en el agua. Ahora dependiendo también de la estación es que se darán las condiciones ideales para que la línea de costa avance hacia el mar o hacia la tierra, esto depende de la cantidad de sedimentos, la fuerza de la corriente y el oleaje, presentándose en verano un oleaje con poca altura el cual permite que los sedimentos se depositen en la superficie de la playa, haciendo estas más anchas (acreción) y con una berma más alta, en invierno al adquirir el oleaje mayor altura el sedimento es transportado de la playa al mar, disminuyendo el ancho de la playa y la altura de la berma produciendo una barra de arena en la zona donde las olas rompen. Cuando las corrientes litorales se encuentran obstáculos

naturales como rocas, islotes, la forma de la playa u obstáculos artificiales como rompeolas, escollera entre otros, se produce una disminución en la cantidad de los sedimentos transportados, lo anterior ocasiona que los sedimentos sean depositados en el sentido de la corriente y por tanto que se produzca una erosión en el sentido contrario, también cuando se interrumpe el flujo antes de llegar al mar se produce erosión, lo mismo pasa con las represas, debido a la retención de sedimentos. Como último detalle el movimiento de la línea de costa hacia la tierra o el mar también puede depender de la pendiente que tenga la playa, produciéndose un avance mayor del mar hacia tierra en playas con pendientes suaves y un avance menor del mar hacia tierra en pendientes grandes.

Muchos factores intervienen para provocar el comportamiento variable de la línea de costa en el tiempo, dependiendo del tipo de factor y la exposición a estos puede producirse un desplazamiento que va desde metros por hora o años hasta km por siglos o milenios, en la Tabla 6.6 se describen mejor estos factores y grado de desplazamiento que puede causar:

Tabla 6.6

*Factores naturales y humanos que influyen en la variación de la línea de costa en diferentes escalas de tiempo*

Escala	Factores naturales	Factores humanos
Largo plazo, Gran escala – siglos a milenios – > 100 km	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disponibilidad de sedimentos</li> <li>• Cambios relativos en el nivel del mar</li> <li>• Cambios diferenciales en el fondo (dinámica tectónica)</li> <li>• Consolidación geológica</li> <li>• Cambios climáticos de largo plazo</li> <li>• Paleo-morfología</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambio climático inducido por el hombre</li> <li>• Regulaciones importantes en ríos</li> <li>• Grandes estructuras costeras</li> <li>• Grandes intervenciones en la hidrodinámica y en la morfología (ceramientos, minería, etc.)</li> <li>• Gestión costera basada en la construcción de estructuras</li> </ul>
Largo plazo, Escala media – décadas a siglos – 10 – 100 km	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambios relativos en el nivel del mar</li> <li>• Variación del clima regional</li> <li>• Ciclos de estuarios</li> <li>• Ondas de arena</li> <li>• Eventos extremos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regulación de ríos</li> <li>• Estructuras costeras</li> <li>• Intervenciones en la hidrodinámica y en la morfología</li> <li>• Gestión costera</li> <li>• Extracción de recursos naturales</li> </ul>
Medio plazo, – años a décadas – 1 – 5 km	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variaciones en el clima marítimo (oleaje)</li> <li>• Ciclos de barras en la zona de surf</li> <li>• Eventos extremos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estructura en la zona de surf</li> <li>• Regeneración de playas</li> </ul>
Corto plazo, – horas a años – 10 – 1 km	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estados de mar: oleaje y mareas</li> <li>• Variaciones climáticas estacionales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estructura en la zona de surf</li> <li>• Regeneración de playas</li> </ul>

Nota: Información recolectada y adaptada de Ávila Armella, A. (2007). Procesos de múltiple escala en la evolución de la línea de costa (Universidad de granada). Recuperado de

<http://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/1730/1724545x.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

## 7. Metodología

### 7.1 Área de estudio

El área de estudio de esta investigación está localizada en el Parque Natural Nacional Tayrona, en los sectores de las playas: Cañaveral, Piscinita, Príncipe San Felipe, La Gumarra, Arrecifes, Arenilla y Piscina (Figura 7.1).

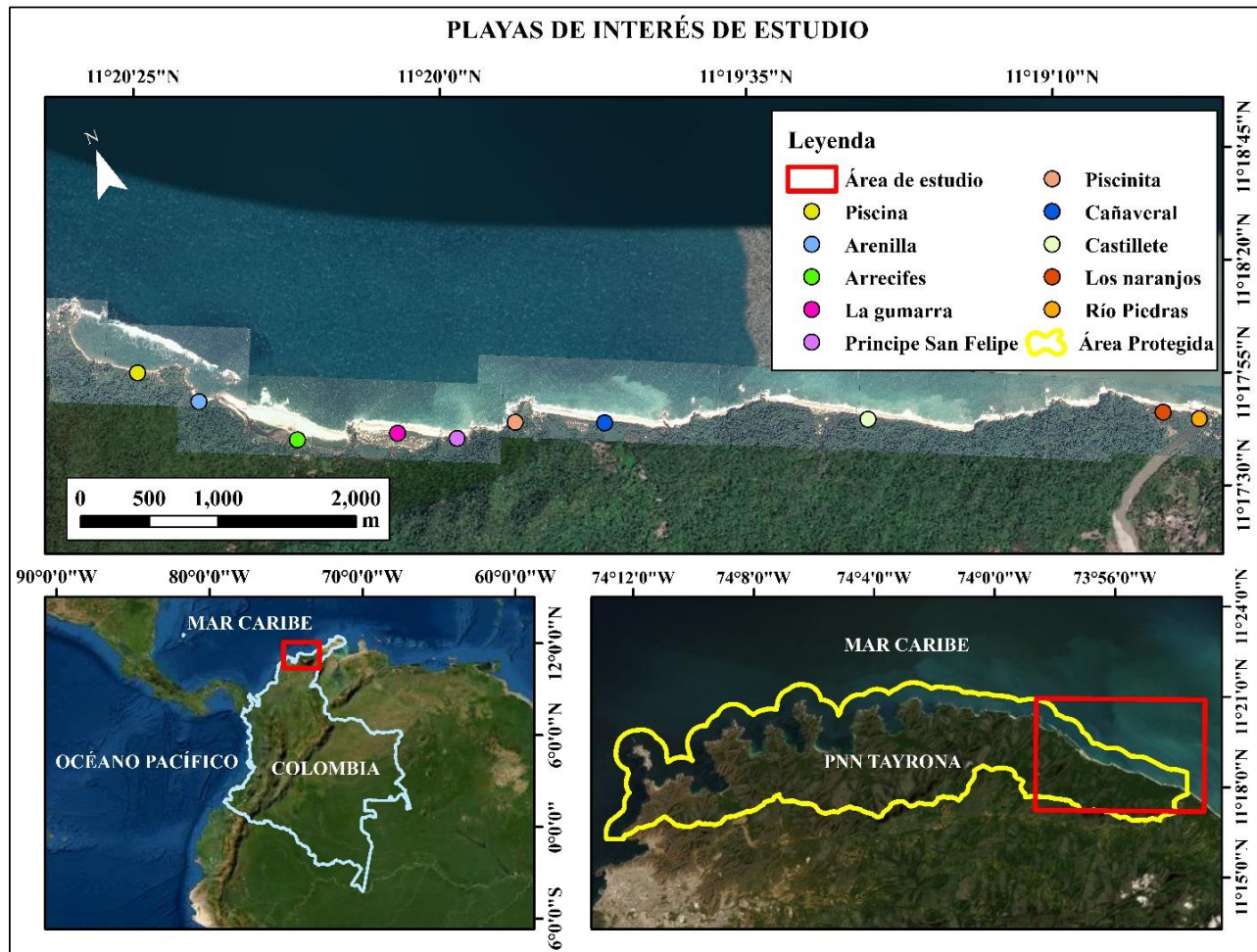


Figura 7.1 Localización del área de estudio. Fuente: (Autor)

Posee un clima tropical semiárido y presenta dos periodos climáticos principales, época seca (verano) y época húmeda (invierno) con temperaturas promedio de 28 °C, variando de 29°C (época seca) a 23 °C (época de lluvias) (IGAC, 1993; Acosta y Díaz, 1990; Posada, et al. 2008).

El régimen de lluvias se correlaciona con los desplazamientos de la llamada zona de convergencia intertropical, de carácter bimodal, con periodo de lluvia (mayo y octubre) (PMPNN Tayrona, 2006).

El Caribe está influido directamente por los vientos alisios, que soplan con mayor intensidad entre los meses de diciembre y abril, con dirección predominante noroeste-suroeste (PMPNN Tayrona, 2006). Este sector puede ser afectado por eventos extremos, siendo los más frecuentes las tormentas tropicales, los huracanes, ciclones tropicales, frentes fríos y mares de leva.

La temporada de huracanes abarca desde junio hasta noviembre, siendo septiembre y octubre los meses más activos (Ortiz Royero, 2007; Ortiz Royero, et al. 2008) durante el cual el sector puede verse afectados por vientos fuertes, abundantes lluvias y marejadas en la costa (Posada, et al. 2008).

Los frentes fríos, llamados también frentes atmosféricos; los cuales se forman por la colisión de una masa de aire frío y una masa de aire caliente producen lluvias torrenciales, provocando inundaciones y deslizamiento de tierra. Los análisis de datos históricos desde 1996 a 2012 de una boya (localizada a los 11°N y 75°W) encontraron que en total un promedio de seis frentes fríos ocurre anualmente. Una excepción fue el año 2010, que presentó un total de 20 frentes fríos. El alto número de frentes fríos registrados para el 2010, coincide con la fase cálida transitoria del ENSO entre los meses de mayo 2009 y marzo 2010 y una fase fría observada entre abril 2010 y abril 2011 (Ortiz-Royero, et al. 2013).

El ciclo anual del oleaje se comporta de forma bimodal el cual se asocia con el comportamiento de los vientos alisios del noreste (NE), el primer periodo se caracteriza por presentar vientos y oleaje intensos coincidiendo con la época seca y bajas precipitaciones, En el

segundo periodo tiene vientos y oleaje débiles con época húmeda acompañada de altas precipitaciones (Ricaurte-Villota et al., 2018). En el caso de los ciclos de marea, estos son semidiurnos, micromaréales y mixtos, pueden presentar amplitudes de 20-30 cm con una oscilación variable de marea alta de 10 a 14 horas y frecuencias de 11,5 horas (INGEOMINAS et al., 2008).

## **7.2 Perfiles de playa**

Los perfiles de playas son imágenes que muestran la parte sumergida, emergida y semisumergida de la playa con sus respectivos anchos y que cambia en función del flujo, reflujo mareal y al remonte de las olas (Moreno Blasco, 2015). Para la construcción del perfil de las playas se utilizaron dos GPS diferencial (DGPS) (Ruida R6) en modo RTK (Modo cinemático, con alta exactitud en tiempo real) y un drone modelo DJI phantom 4 PRO. Estos datos fueron procesados en Software Global Mapper, corrigiendo así los errores de altura y obteniendo un modelo de elevación del terreno. En la *Figura 7.2* se describe más a detalle los pasos realizados:



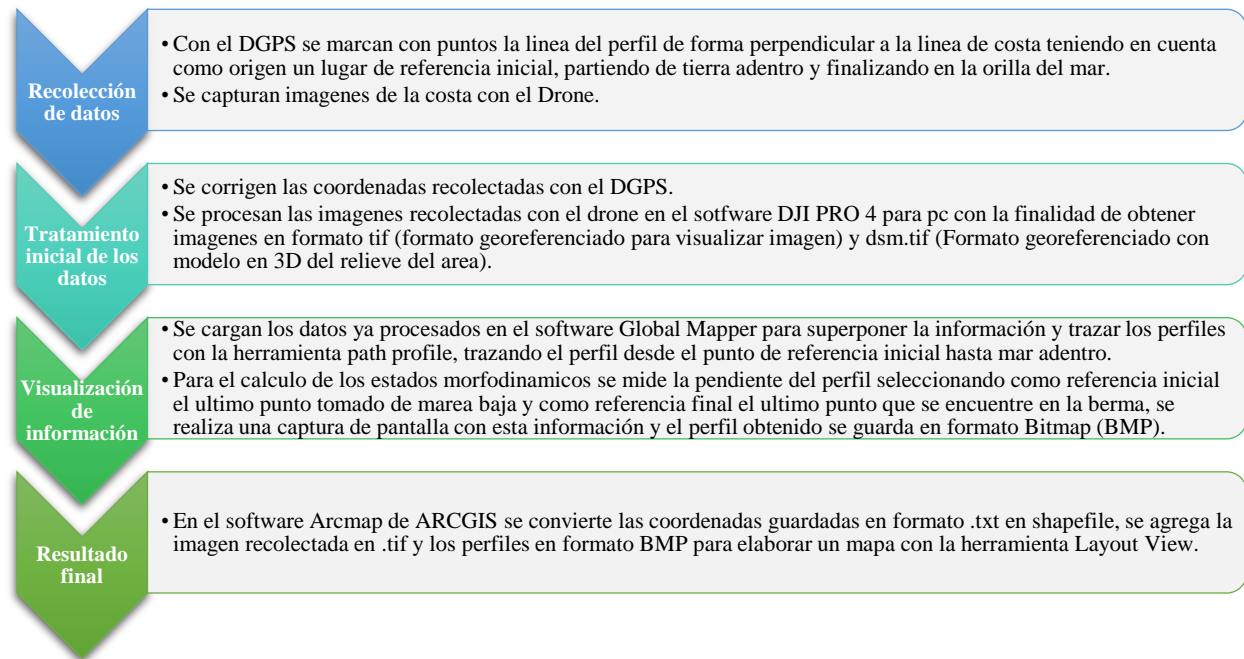


Figura 7.2 Pasos realizados para obtener de los perfiles de playa del área de estudio. Fuente: (Autor)

La información fue recolectada a finales del mes de junio del 2018 en las playas: Piscina Arenilla, Arrecifes, Príncipe San Felipe, Piscinita, Cañaveral. El número de perfiles trazados y la distancia entre cada uno vario según el tamaño de la playa, En el título 13.1 del anexo se encuentran las distancias aproximadas entre cada perfil. A continuación, en la Tabla 7.1 se puede observar la distancia promedio entre cada perfil así como el número trazado por playas:

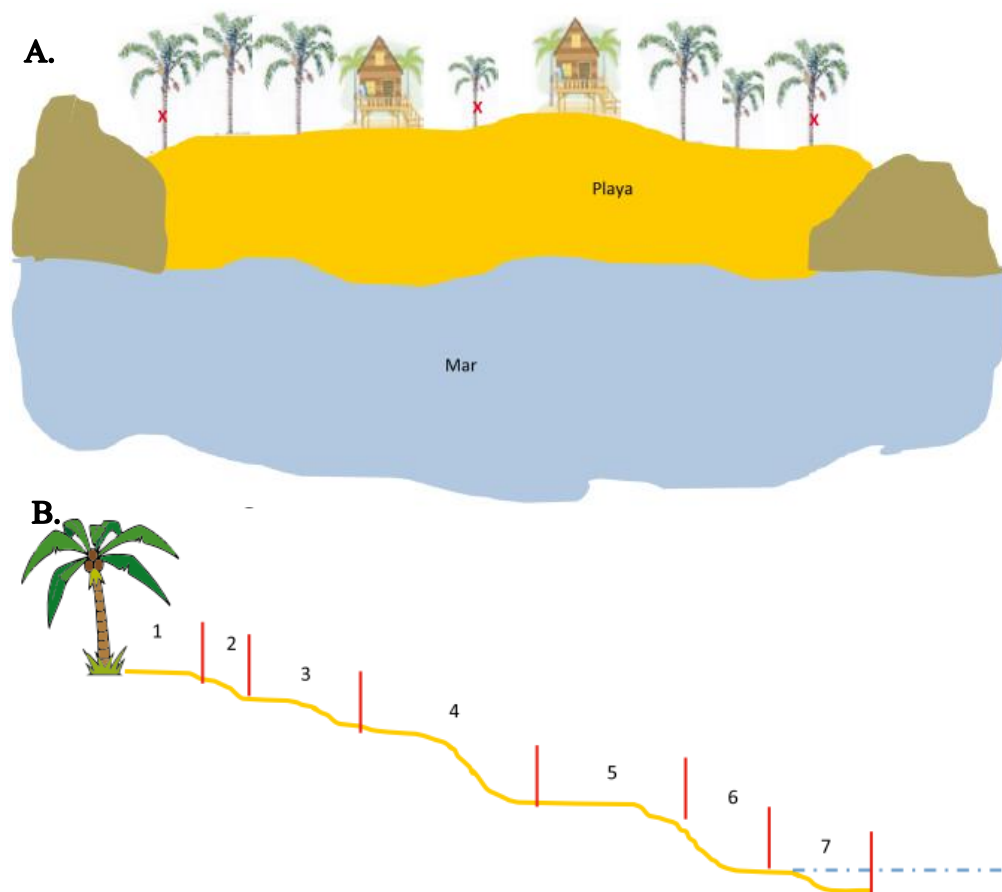
Tabla 7.1

*Numero de perfiles realizados por playas con su respectiva distancia promedio*

<b>Playas</b>	<b>Distancia promedio entre cada perfil (m)</b>	<b>Numero de perfiles por playa</b>
Piscina	63,56	6
Arenilla	52,80	3
Arrecifes	80,72	13
Príncipe San Felipe	21,45	9
Piscinita	9,95	4
Cañaveral	47,62	25

Nota: Información Extraída del (Autor)

Para el levantamiento del perfil de playa se identifica un punto de referencia fijo ubicado detrás de la playa el cual puede ser un Árbol o algún objeto fijo o marca el cual será el punto de partida para trazar el perfil, mínimo se ubican tres puntos de referencia, uno en cada extremo de la playa y uno en el centro. Después se definen los segmentos en los cuales se va a dividir la playa para medir el perfil, teniendo en cuenta que cada segmento debe tener algún desnivel o escalón a lo largo del perfil de playa, el punto final del perfil será el escalón ubicado mar adentro donde rompan las olas o donde se presente un tramo descendente (Navarrete-Ramírez, 2014). En la *Figura 7.3* se puede observar puntos de referencia para el levantamiento del perfil y la forma en la que se debe dividir los segmentos de la playa según sus desniveles:



*Figura 7.3 Metodología aplicada para levantar los perfiles de playa. A. Identificar punto de referencia; B. Definir los segmentos de la playa que serán medidos. Fuente: Navarrete-Ramírez, 2014*

Para Definir si el estado morfodinámico de cada perfil de playa era disipativo o reflectivo se utilizó la fórmula parámetro de escala de surf ( $\varepsilon$ ) propuesta por Guza y Inman, (1975) para la cual se necesitó conocer la pendiente de cada perfil medido, el periodo (T) y la altura de ola (Hs). Si el valor resultaba ser  $\varepsilon < 2,5$  el perfil era disipativo y si  $\varepsilon < 1$  el perfil era reflejante (Calliari et al., 2003), para obtener esos valores se remplazaron todos los términos de la formula parámetro de escala de surf obteniendo la formula con la cual se realizó el cálculo en Excel:

$$\varepsilon = \frac{(H_b/2)(2\pi/T)^2}{g \tan \left( \frac{\text{Pendiente en grados} \pi}{180} \right)^2}$$

### 7.3 Variación de la línea de costa

Para determinar la variación de la línea de costa se utilizaron imágenes satelitales de los años 2012 y 2016 obtenidas del programa Google Earth siendo georreferenciadas en ArcMap<sup>®</sup> 10.6, otra fuente de información geográfica fueron las imágenes capturas con drone modelo de DJI Phantom 4 PRO correspondientes al año 2018.

Las líneas de costa fueron trazadas a través de la herramienta de edición polilínea teniendo en cuenta la definición de los autores Crowell et al. (1991) la cual toma la línea de costa como una interfaz tierra - mar en costas arenosas que tiene un notable cambio de tonalidad en las arenas de la playa en los límites de pleamares de sizigia.

El análisis de la línea de costa fue realizado a través de la aplicación de ArcMap<sup>®</sup> - *Digital Shoreline Analysis System* – DSAS versión 5.0 la cual es una aplicación diseñada por el USGS para calcular estadísticas de tasas de cambio para datos vectoriales de costa para lapsos de tiempo definidos según la información recolectada en el software de Esri (ArcGIS) (Thieler y Danforth, 1994; USGS, 2018). Para este análisis se utilizaron las líneas de costa de los años 2012

a 2018 correspondientes a las playas: Piscina Arenilla, Arrecifes, La Gumarra, Príncipe San Felipe, Piscinita, Cañaveral, sobre las cuales fue trazada una línea base ubicada tierra adentro paralela a la línea de costa. Los cambios costeros se calcularon sobre transeptos perpendiculares a la costa, ubicados a intervalos de 5 m, y cuyos orígenes se encuentran en una línea base de referencia ubicada hacia tierra de todos los vectores de línea de costa. Para evaluar el cambio de las líneas costeras, se procesó la estadística *Net Shoreline Movement* (NSM) la cual proveen información acerca de la magnitud y las tendencias de los cambios de la línea costera y viene siendo la distancia entre la línea de costa más antigua y la más reciente por transecto, por tanto sus unidades están en metros (USGS, 2018), a continuación en la *Figura 7.4* se observa los pasos descritos de forma más detallada:

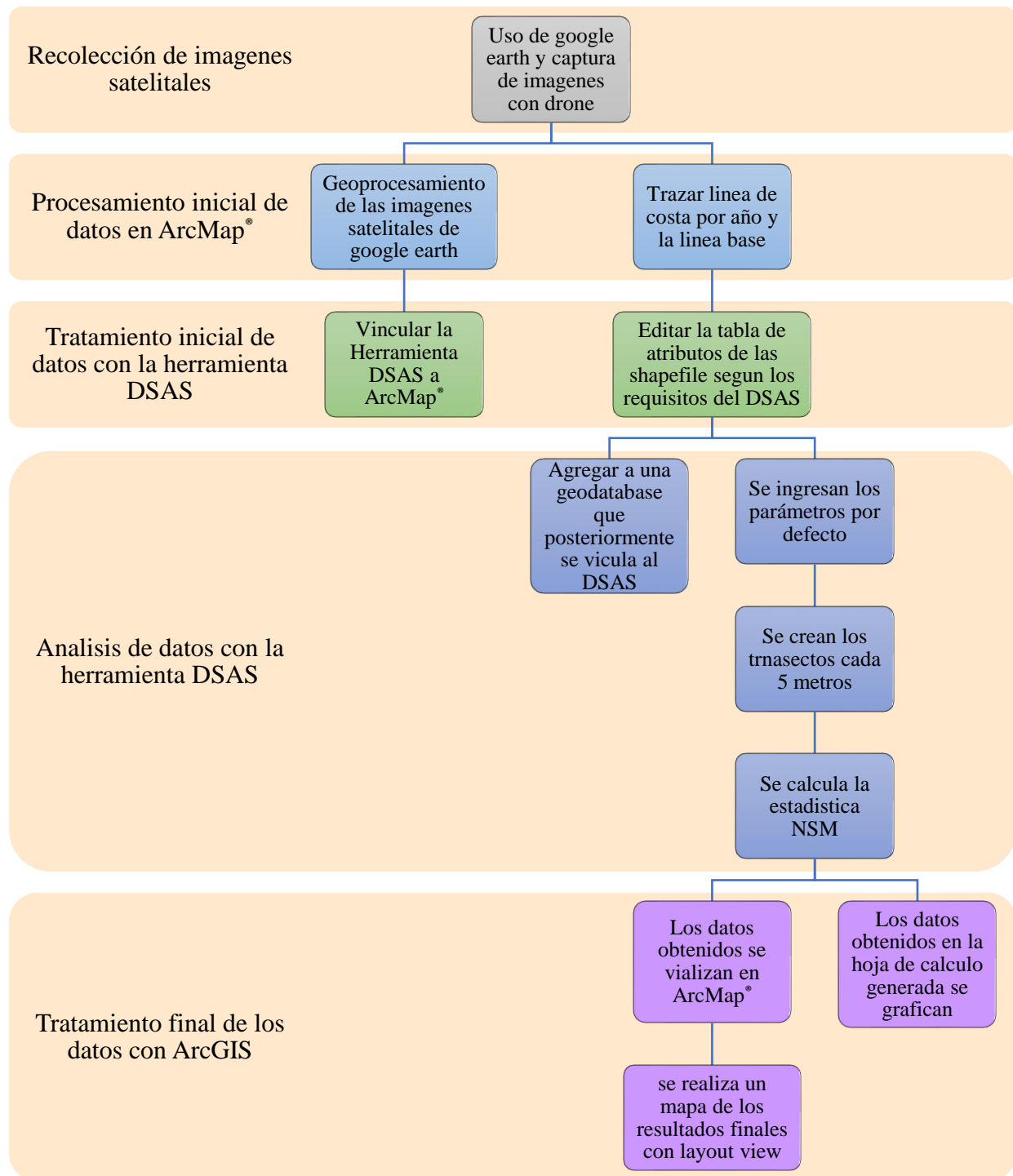


Figura 7.4 Pasos realizados para el uso de la herramienta DSAS en ArcMap®. Fuente: (Autor)

#### 7.4 Cuenca hidrográfica

Las cuencas hidrográficas es el área de aguas subterráneas o superficiales que provienen de una red natural con uno o varios cauces naturales, de caudal que puede ser continuo o intermitente el cual confluye en un curso mayor que puede desembocar en un río principal, en un pantano, en un deposito natural de aguas o directamente en el mar (IDEAM, 2002), los principales cuerpos de agua del PNN-Tayrona son el río Piedras y el río Guachaca (Molina Tinjacá, 2014), la herramienta crear cuencas hidrográficas (*create watersheds*) utiliza un modelo digital de elevación (DEM) para la creación de las cuencas, la resolución depende de la ubicación del área de estudio y esta información se encontrara ubicada en el campo DataResolution de la capa resultante (ArcGIS, 2020).

A continuación se describirá con más detalle la metodología adoptada para la delineación de cuencas hidrográficas en este estudio:

- a. Buscar y descargar imagen satelital SRTM/DEM del área de interés en la página del USGS con resolución de 30 metros de las coordenadas N11W074 y N11W075.
- b. Delineación automática de la cuenca utilizando imagen SRTM /DEM con la ayuda de la herramienta de *Hydrology* en ArcMap® (siguiendo los pasos que se muestran en la Tabla 7.2).
- c. Identificación de los puntos críticos en los que se acumulan las áreas de captación delineadas sucesivamente más grandes.
- d. Verificación de la red de flujo delineada utilizando la morfología de flujo visible en Google Earth, y la red de flujo HydroSHEDS.

Tabla 7.2

*Pasos para la delineación automática de la cuenca utilizando imagen SRTM DEM con la ayuda de la herramienta de Hydrology en ArcGIS*

Pasos	Herramienta	Descripción
Paso 1	SRTM - DEM	Imagen
Paso 2	<i>Hydrology &gt; Fill</i>	Rellenar vacíos en la superficie del ráster para quitar imperfecciones en la información del DEM.
Paso 3	<i>Hydrology &gt; Flow Direction.</i>	Definir la dirección de la red hídrica: Flow Direction,
Paso 4	<i>Hydrology &gt; Flow Accumulation.</i>	Determinar la acumulación la red hídrica:
Paso 5	<i>Mapa algebra &gt; Raster Calculator &gt; Con ("FlowAcc" &gt; 500,1)</i>	Construcción automáticamente la red hídrica
Paso 6	<i>Hydrology &gt;Stream to feature</i>	Generación del drenaje
Paso 7	<i>Hydrology &gt; Basin.</i>	Delimitando automáticamente la cuenca hidrográfica
Paso 8	<i>Layout View</i>	Diseñar Mapa Con los resultados obtenidos

Nota: Información Extraída del (Autor)

## 8. Resultados

### 8.1 Perfiles de playa

Las playas del área de estudio se clasificaron de acuerdo al modelo propuesto por Wright et al. (1984) y para definir el tipo de estado morfodinámico se calculó el parámetro de escala de surf ( $\epsilon$ ) de cada perfil usando como valores de Periodo (T) 10 horas (INGEOMINAS et al., 2008) y Altura de ola ( $H_s$ ) 1,8 metros (Ricaurte-Villota y M.L. Bastidas Salamanca (Eds.), 2017).

Respecto a las alturas de los perfiles de playa, los valores en metros están en función del elipsoide y no del geoide, por tanto no están en metros sobre el nivel del mar msnm. Estos perfiles fueron levantados los últimos días de junio del 2018.

#### 8.1.1 Piscina

De acuerdo a la Tabla 8.1 correspondiente a los perfiles de la playa piscina, el estado morfodinámico predominante en la playa piscina es el Disipativo, presentándose el estado más disipativo en el perfil 6 ubicado al este de la playa y el menos disipativo es el perfil 1 ubicado al oeste, se observa una tendencia de oeste a este de una disminución de las pendientes de las playas y por tanto aumenta la predominancia hacia el estado Disipativo, estando los perfiles del oeste un poco más cerca del estado reflejante que los del este. Lo anterior se puede observar con mayor detalle en la *Figura 8.1*.



Tabla 8.1

*Información de los perfiles de la playa Piscina*

<b>Playa</b>	<b>Perfil</b>	<b>Pendiente</b>	<b>Parámetro de escala de surf (<math>\varepsilon</math>)</b>	<b>Estado morfodinámico</b>
Piscina	<b>P_Pscn_1</b>	11,01°	1,916	Disipativo
	<b>P_Pscn_2</b>	7,43°	4,264	Disipativo
	<b>P_Pscn_3</b>	6,02°	6,520	Disipativo
	<b>P_Pscn_4</b>	4,95°	9,667	Disipativo
	<b>P_Pscn_5</b>	5,97°	6,631	Disipativo
	<b>P_Pscn_6</b>	4,00°	14,829	Disipativo

Nota: Información Extraída del (Autor)

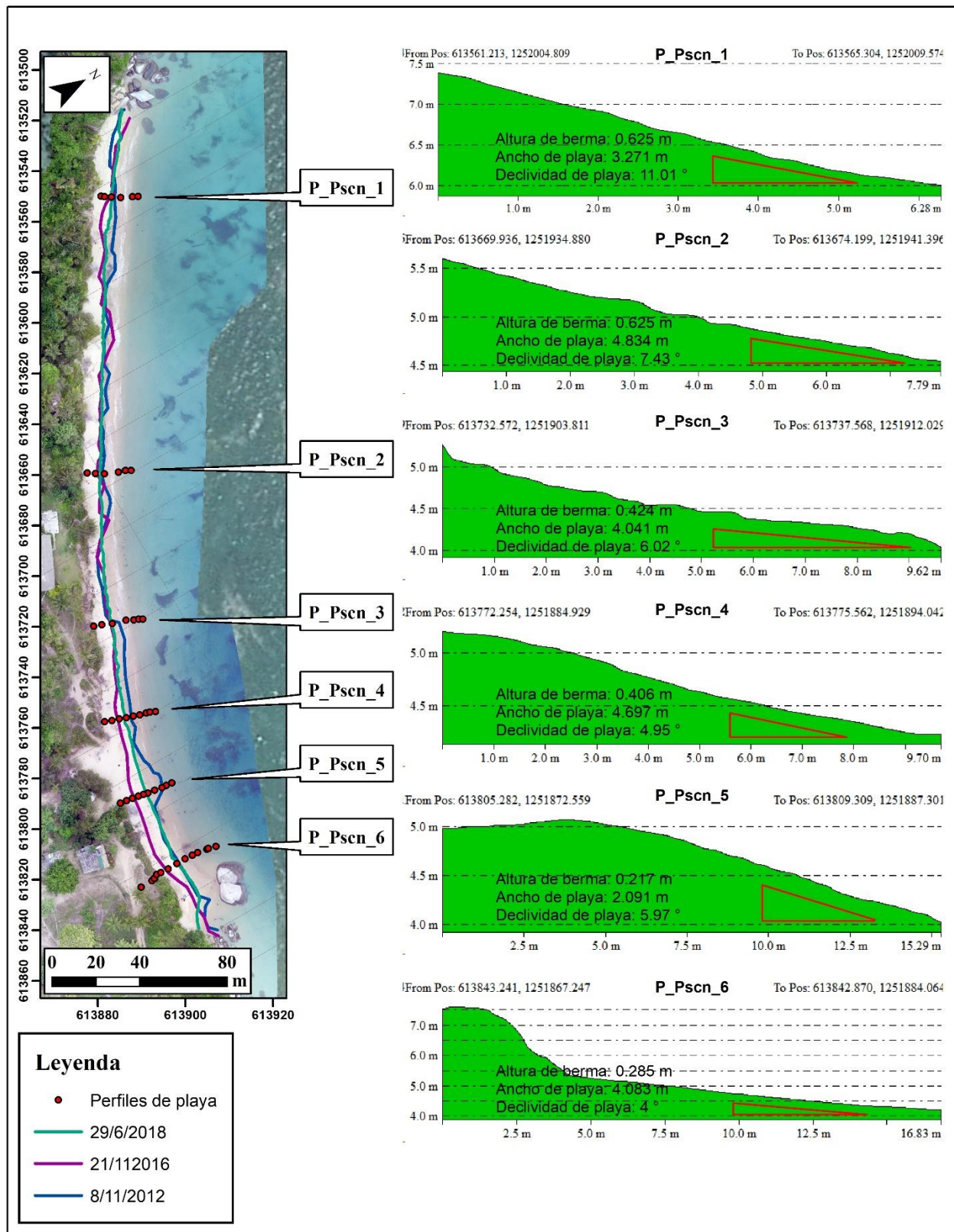


Figura 8.1 Perfiles de la Playa Piscina. Fuente: (Autor)

### 8.1.2 Arenilla

De acuerdo con la Tabla 8.2 correspondiente a los perfiles de la playa Arenilla, el estado morfodinámico predominante es el Disipativo, presentándose el estado más Disipativo en el perfil 2 ubicado en la mitad de la playa. Los perfiles de los extremos oeste y este, aunque son Disipativos tienden a estar un poco más cerca del estado reflejante. Se observa que las pendientes aumentan desde el centro de la playa hasta el oeste, lo mismo sucede desde el centro de la playa al este, siendo la pendiente del este la de mayor valor registrado en toda la playa. Lo anterior se puede observar con mayor detalle en la *Figura 8.2*.

Tabla 8.2

*Información de los perfiles de la playa Arenilla*

Playa	Perfil	Pendiente	parámetro de escala de surf ( $\epsilon$ )	Estado morfodinámico
Arenilla	<b>P_Aren_1</b>	11,38°	1,790	Disipativo
	<b>P_Aren_2</b>	8,06°	3,616	Disipativo
	<b>P_Aren_3</b>	14,12°	1,146	Disipativo

Nota: Información Extraída del (Autor)

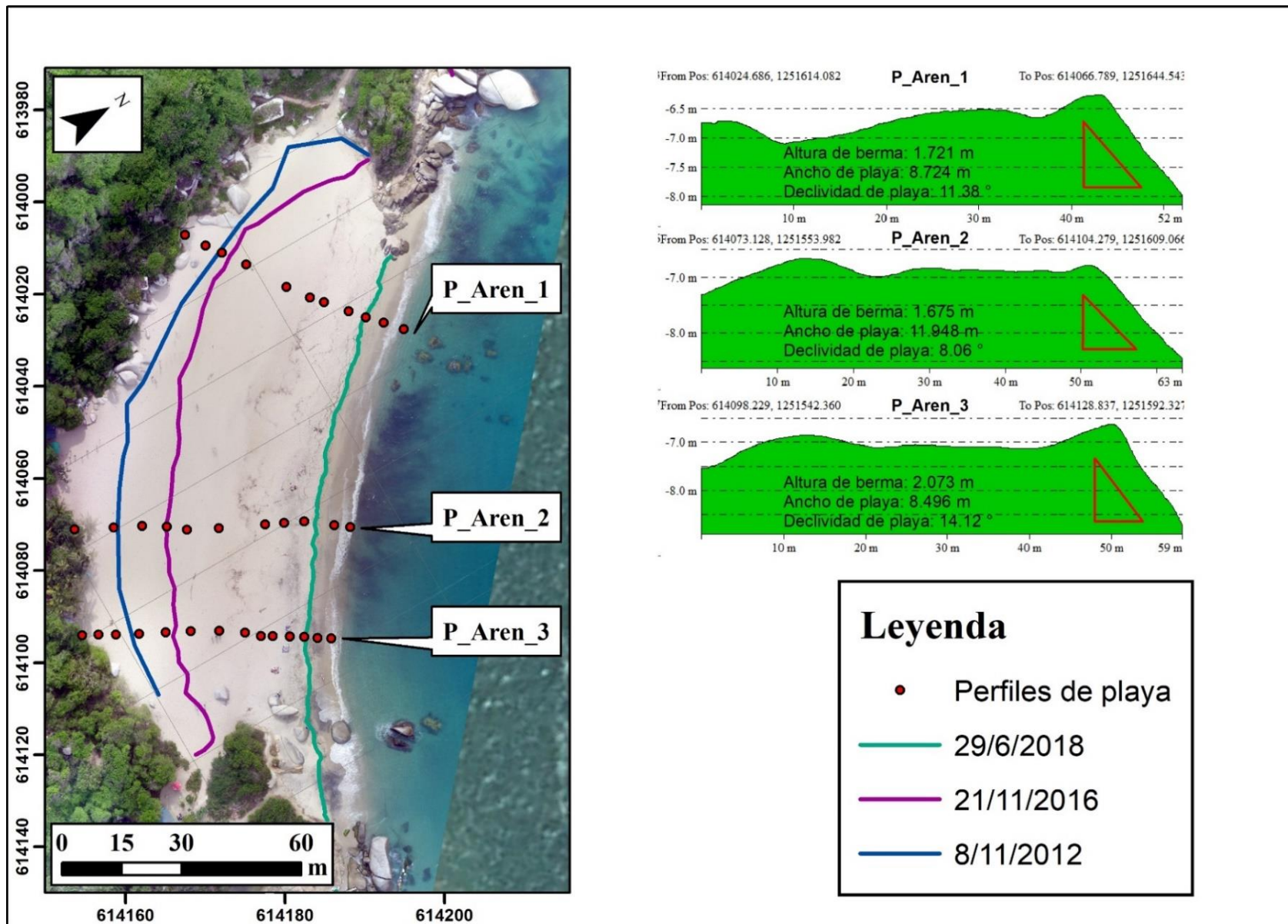


Figura 8.2 Perfiles de la playa Arenilla. Fuente: (Autor)

### 8.1.3 Arrecifes

De acuerdo con la Tabla 8.3 correspondiente a los perfiles de la playa Arrecifes el estado morfodinámico que predomina es el Disipativo, el cual se presenta al oeste, centro y un solo perfil Disipativo al extremo este de la playa. Al este se encuentran los perfiles reflejantes y en el centro de la playa un solo perfil reflejante. El perfil 3 es el más Disipativo y se encuentra al oeste de la playa, el perfil 7 es el menos Disipativo y se encuentra ubicado al centro de la playa. El perfil 6 es el más reflejante y se encuentra ubicado también al centro de la playa y el menos reflejante es el perfil 11 y está ubicado al este de la playa. De oeste a este empiezan a aumentar un poco el valor de los pendientes lo que permite que se presenten perfiles en estado reflejantes en una playa donde predomina el estado Disipativo. Lo anterior se puede observar con mayor detalle en la *Figura 8.3*.

Tabla 8.3  
*Información de los perfiles de la playa Arrecifes*

Playa	perfil	Pendiente	parámetro de escala de surf ( $\epsilon$ )	Estado morfodinámico
Arrecifes	P_Arre_1	12,22°	1,546	Disipativo
	P_Arre_2	9,94°	2,361	Disipativo
	P_Arre_3	1,59°	94,110	Disipativo
	P_Arre_4	12,44°	1,490	Disipativo
	P_Arre_5	6,24°	6,065	Disipativo
	P_Arre_6	21,34°	0,475	Reflejante
	P_Arre_7	13,97°	1,172	Disipativo
	P_Arre_8	6,59°	5,433	Disipativo
	P_Arre_9	10,74°	2,016	Disipativo
	P_Arre_10	17,41°	0,737	Reflejante
	P_Arre_11	15,92°	0,891	Reflejante
	P_Arre_12	19,59°	0,573	Reflejante
	P_Arre_13	9,69°	2,487	Disipativo

Nota: Información Extraída del (Autor)



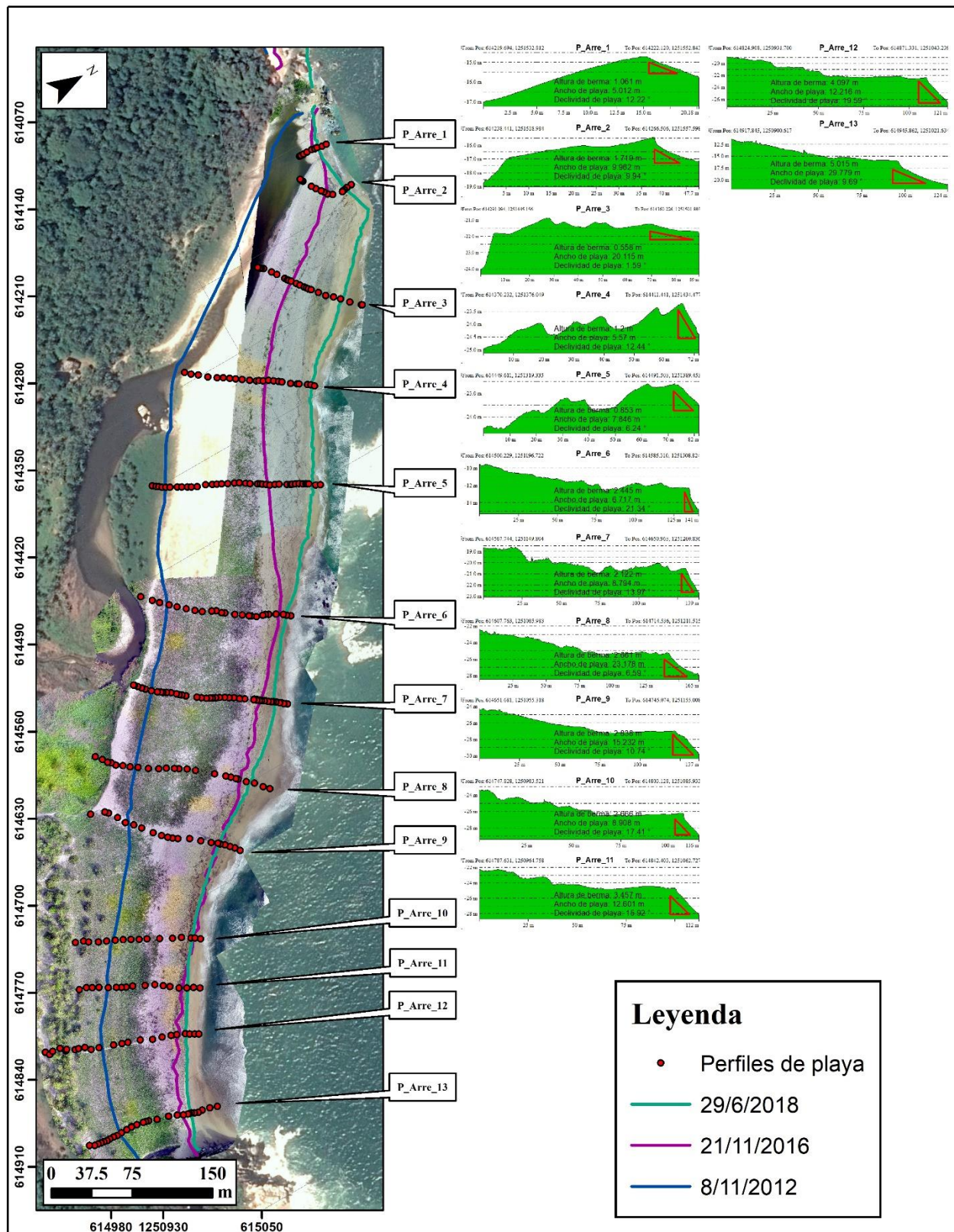


Figura 8.3 Perfiles de la playa Arrecifes. Fuente: (Autor)

### 8.1.4 Príncipe San Felipe

De acuerdo con la Tabla 8.4 correspondiente a los perfiles de la playa Príncipe San Felipe el estado que predomina es el Disipativo, aunque al este de la playa se presentan dos perfiles reflejantes, en el resto de la playa de este a oeste se presenta el estado Disipativo. De manera no progresiva aumentan las pendientes de la playa de oeste a este, lo que permite que se presenten perfiles reflejantes en una playa donde predomina el estado Disipativo, volviéndose más cercana al estado reflejante al este y más distante a ese estado al oeste. El perfil 1 es el más Disipativo y se encuentra al oeste de la playa, el menos Disipativo es el perfil 4 ubicado al centro de la playa. El perfil 9 es el más reflejante y se encuentra ubicado al este de la playa, el menos reflejante es el perfil 8 ubicado también al este de la playa. Lo anterior se puede observar con mayor detalle en la *Figura 8.4*.

Tabla 8.4  
Información de los perfiles de la playa Príncipe San Felipe

Playa	perfil	Pendiente	parámetro de escala de surf ( $\varepsilon$ )	Estado morfodinámico
Príncipe san Felipe	P_Prcp_1	5,81°	7,003	Disipativo
	P_Prcp_2	7,15°	4,608	Disipativo
	P_Prcp_3	12,17°	1,559	Disipativo
	P_Prcp_4	14,64°	1,063	Disipativo
	P_Prcp_5	12,16°	1,562	Disipativo
	P_Prcp_6	12,93°	1,376	Disipativo
	P_Prcp_7	13,73°	1,215	Disipativo
	P_Prcp_8	20,94°	0,495	Reflejante
	P_Prcp_9	19,08°	0,606	Reflejante

Nota: Información Extraída del (Autor)



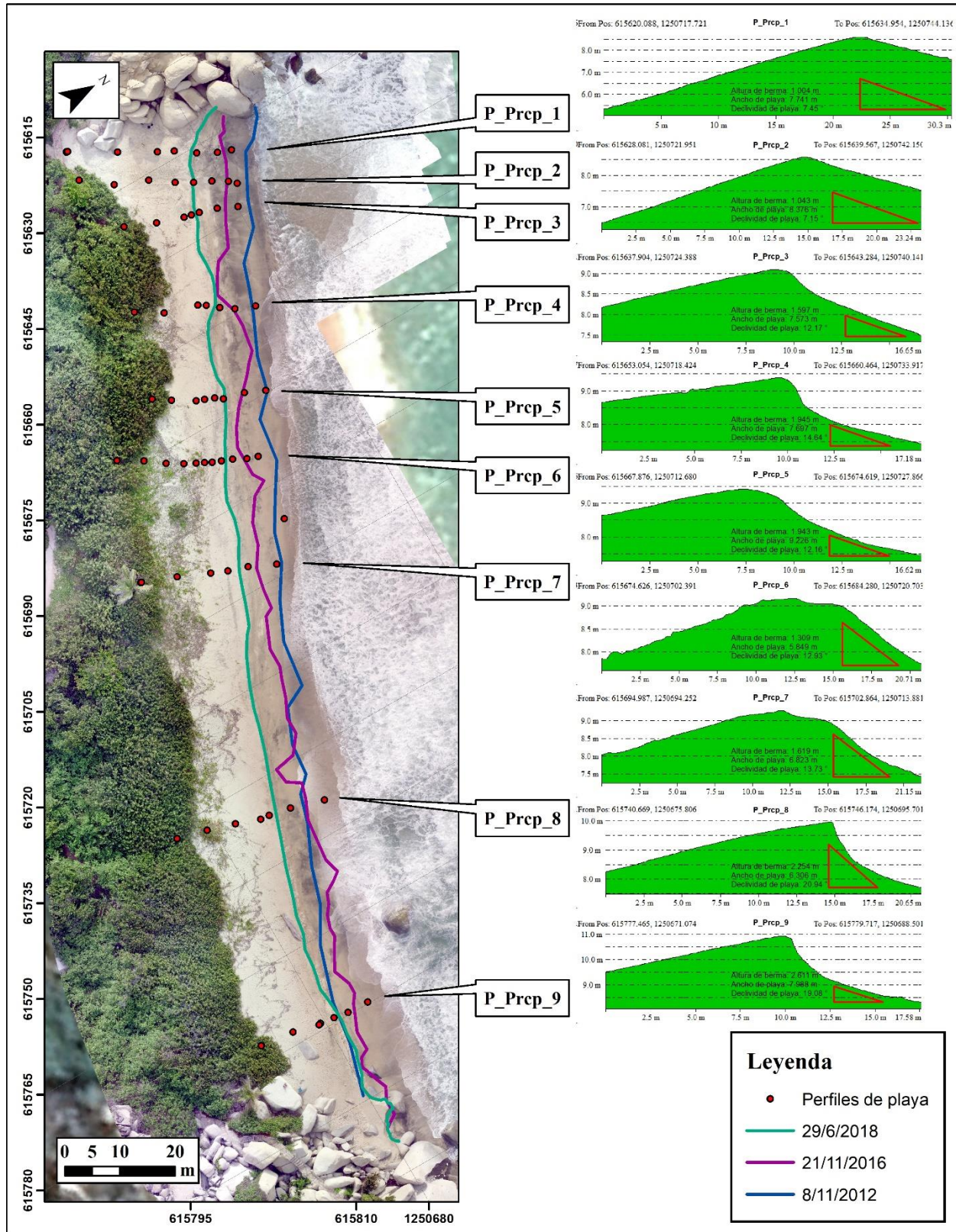


Figura 8.4 Perfiles de la playa Príncipe San Felipe. Fuente: (Autor)



### 8.1.5 Piscinita

De acuerdo con la Tabla 8.5 correspondiente a los perfiles de la playa Piscinita el estado predominante en esta playa es el Disipativo, aunque las pendientes de esta playa aumentan de oeste a este acercándose poco a poco al estado reflejante no logran subir lo suficiente para tener pendientes en ese estado. El estado más disipativo se encuentra al oeste de la playa y corresponde al perfil 1, el estado menos Disipativo y por tanto más cercano al estado reflejante se presenta en el perfil 4 ubicado en el extremo este de la playa. Lo anterior se puede observar con mayor detalle en la *Figura 8.5*.

Tabla 8.5  
*Información de los perfiles de la playa Piscinita*

Playa	perfil	Pendiente	parámetro de escala de surf ( $\epsilon$ )	Estado morfodinámico
Piscinita	P_Pscent_1	5,81°	7,003	Disipativo
	P_Pscent_2	6,53°	5,534	Disipativo
	P_Pscent_3	9,97°	2,347	Disipativo
	P_Pscent_4	11,41°	1,780	Disipativo

Nota: Información Extraída del (Autor)

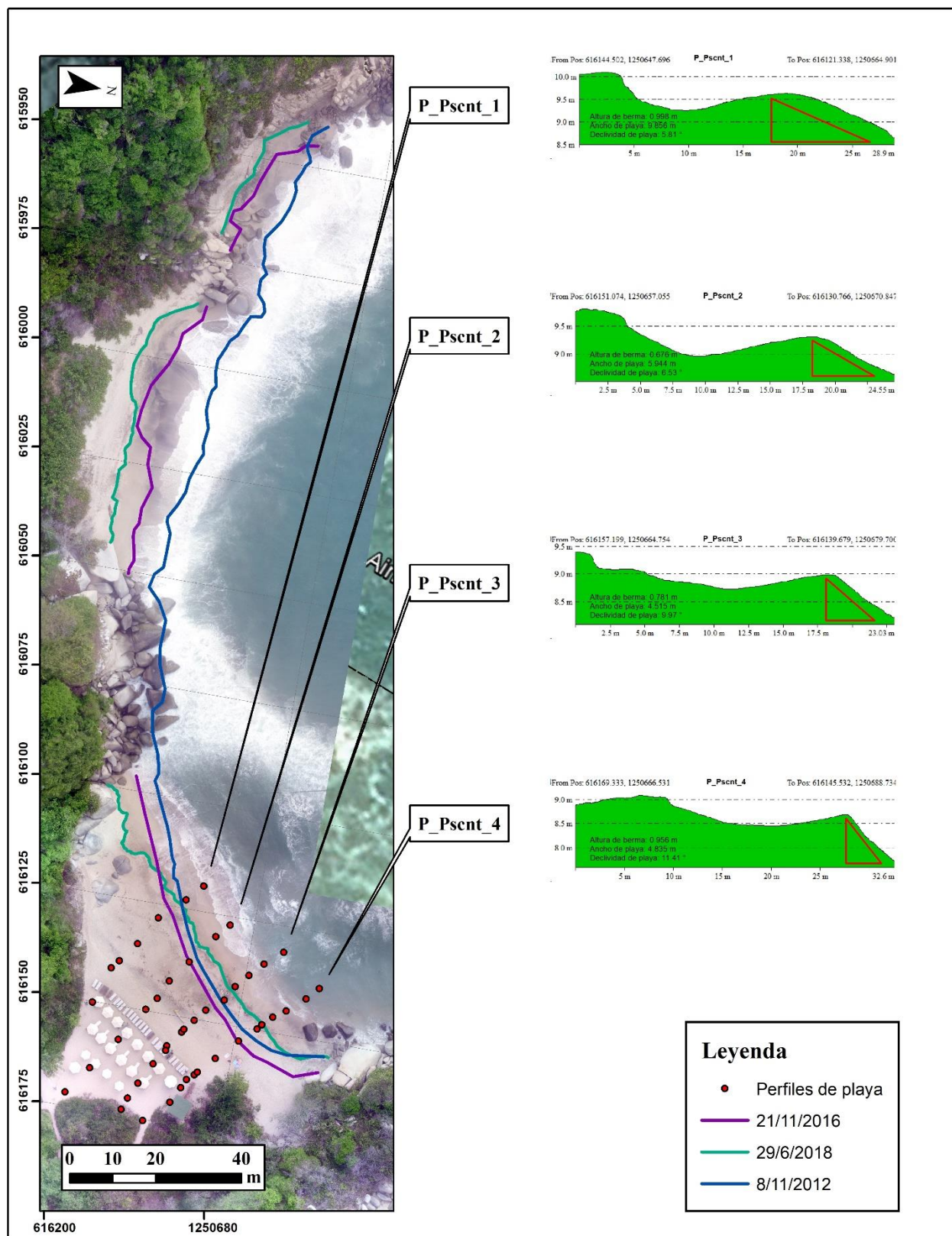


Figura 8.5 Perfiles de la playa Piscinita. Fuente: (Autor)

### 8.1.6 Cañaveral

De acuerdo a la Tabla 8.6 correspondiente a los perfiles de la playa Cañaveral el estado morfodinámico que predomina en esta playa es el reflejante, solo se presentan dos perfiles Disipativos con valores de pendiente relativamente altos que los acercan bastante al estado reflejante, estos son el perfil 4 ubicado al oeste de la playa el cual es el más cercano al estado reflejante y el perfil 13 ubicado al este de la playa el cual es menos cercano al estado reflejante de los perfiles Disipativos registrados en la playa. De los perfiles reflejantes el perfil 16 es el menos reflejante y el perfil 5 es el más reflejante. Esta playa posee valores de pendientes altos, que varían de un perfil a otro, pero no se observa un patrón definido de aumento o disminución de las pendientes de la playa Cañaveral. Lo anterior se puede observar con mayor detalle en la *Figura 8.6*.

Tabla 8.6

*Información de los perfiles de la playa Cañaveral*

Playa	perfil	Pendiente	parámetro de escala de surf ( $\epsilon$ )	Estado morfodinámico
Cañaveral	P_Cana_1	17,70°	0,712	Reflejante
	P_Cana_2	17,74°	0,709	Reflejante
	P_Cana_3	19,38°	0,586	Reflejante
	P_Cana_4	14,08°	1,153	Disipativo
	P_Cana_5	24,98°	0,334	Reflejante
	P_Cana_6	23,65°	0,378	Reflejante
	P_Cana_7	16,59°	0,817	Reflejante
	P_Cana_8	22,97°	0,404	Reflejante
	P_Cana_9	19,84°	0,557	Reflejante
	P_Cana_10	18,16°	0,674	Reflejante
	P_Cana_11	23,84°	0,371	Reflejante
	P_Cana_12	20,03°	0,546	Reflejante
	P_Cana_13	13,54°	1,250	Disipativo
	P_Cana_14	23,74°	0,375	Reflejante
	P_Cana_15	16,62°	0,814	Reflejante
	P_Cana_16	16,05°	0,876	Reflejante
	P_Cana_17	17,98°	0,688	Reflejante
	P_Cana_18	24,47°	0,350	Reflejante
	P_Cana_19	21,89°	0,449	Reflejante

Nota: Información Extraída del (Autor)



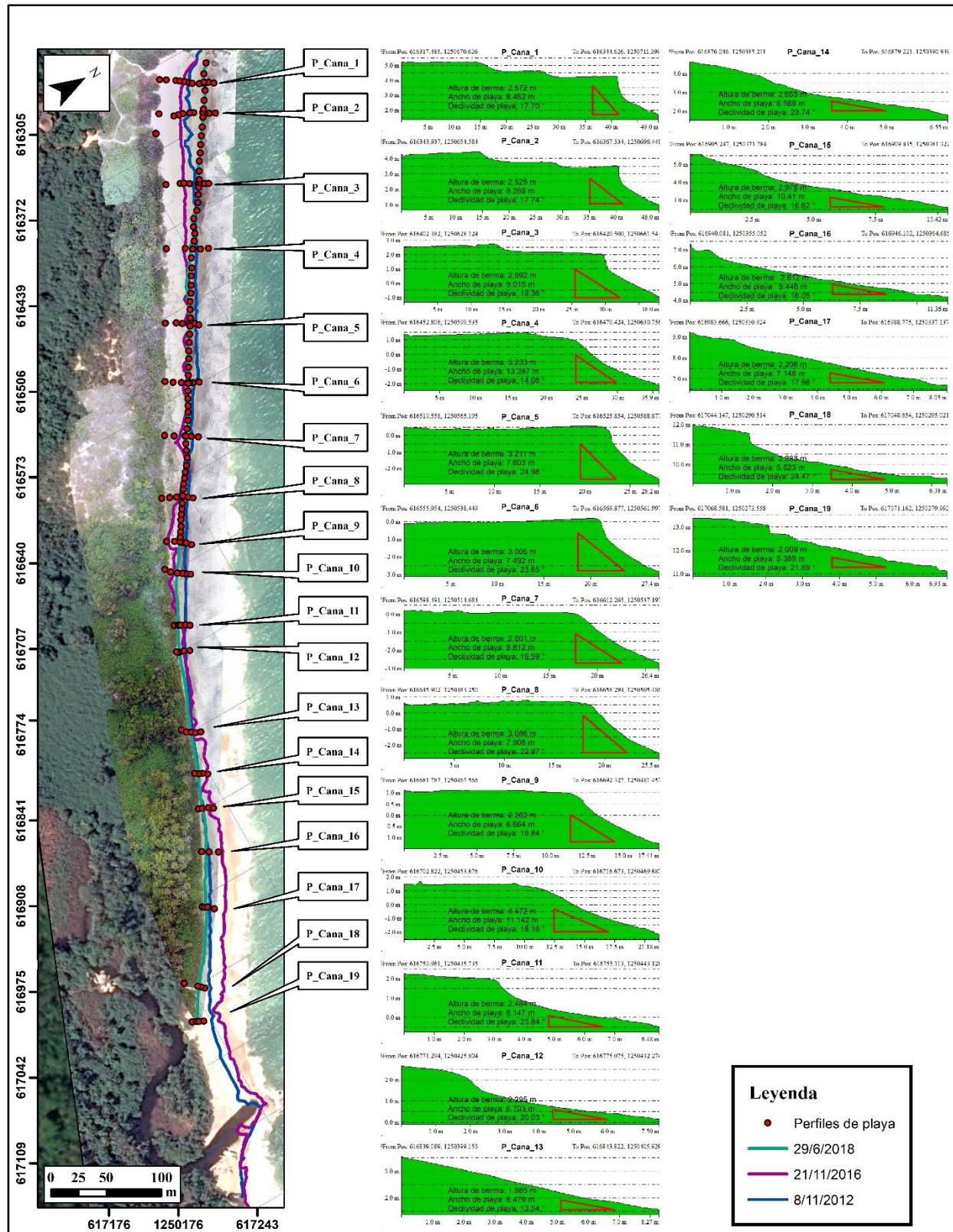


Figura 8.6 Perfiles de la playa Cañaveral. Fuente: (Autor)

## 8.2 Variación de la línea de costa

Con la herramienta estadística NSM (Net Shoreline Movement) de DSAS Versión 5 se identifican cuáles son las playas que presentan acreción (positivo) o erosión (negativo) con el avance o retroceso de sus sedimentos.

### 8.2.1 Piscina

En la *Figura 8.7* que corresponde a la playa Piscina se observa que en los últimos 6 años ha variado la posición de la línea de costa en toda la playa, presentando en algunos tramos acreción y en otros erosión en una proporción de 4 sectores erosionados y 4 progradados. Siguiendo un orden en el que la aparición de un tramo erosionado y acrecentado se alterna presentando en ambos un patrón de crecimiento muy variable en el que por lo general a medida que disminuye el avance de erosión de un tramo aumenta la acreción de manera progresiva en el tramo siguiente.

Los tramos que presentan erosión son los transectos 330 y 331 con avances que van desde los - 1,8 metros hasta los - 6,7 metros aumentando desde oeste. Los transectos 337 al 346 con avances que van desde los - 0,36 metros hasta - 4,09 metros, en esta área de erosión del transecto 337 al 340 hay un aumento en la retrogradación de este a oeste y del transecto 340 al 346 disminuye de este a oeste.

Los transectos 354 al 356 con avances que van desde los - 0,12 metros hasta los - 1,63 metros aumentando la erosión de oeste a este y los transectos 360 al 362 con avances que van desde los - 1,26 metros hasta los - 1,65 metros tienden a aumentar de manera variable la erosión de oeste a este.

Los tramos que presentan acreción son los transectos 332 al 336 con avances que van de 0,35 metros hasta 2,46 metros aumentando la progradación de oeste a este, los transectos 347 al 353 con avances que van desde los 0,06 metros el cual no se logra visualizar en la gráfica hasta

los 2,54 metros con avance de la acreción muy variable que tienden a aumentar de este a oeste, los transectos 357 al 359 con avances que van desde 0,08 metros el cual no es visible en la gráfica hasta 2,32 metros aumenta la acreción de oeste a este y los transectos 363 al 367 con avances de 0,24 metros hasta 3,88 metros domina el avance a la acreción de este a oeste, saliéndose de este patrón los transectos 364 y 367 ya que en estos disminuye la distancia de progradación.

En las zonas que presentan acreción el transecto que presenta mayor avance es el 366 con 3,88 metros ubicado al extremo oeste de la playa y en las zonas donde se presenta la erosión el transecto con mayor avance es el 330 con - 6,73 metros ubicado al extremo este de la playa.

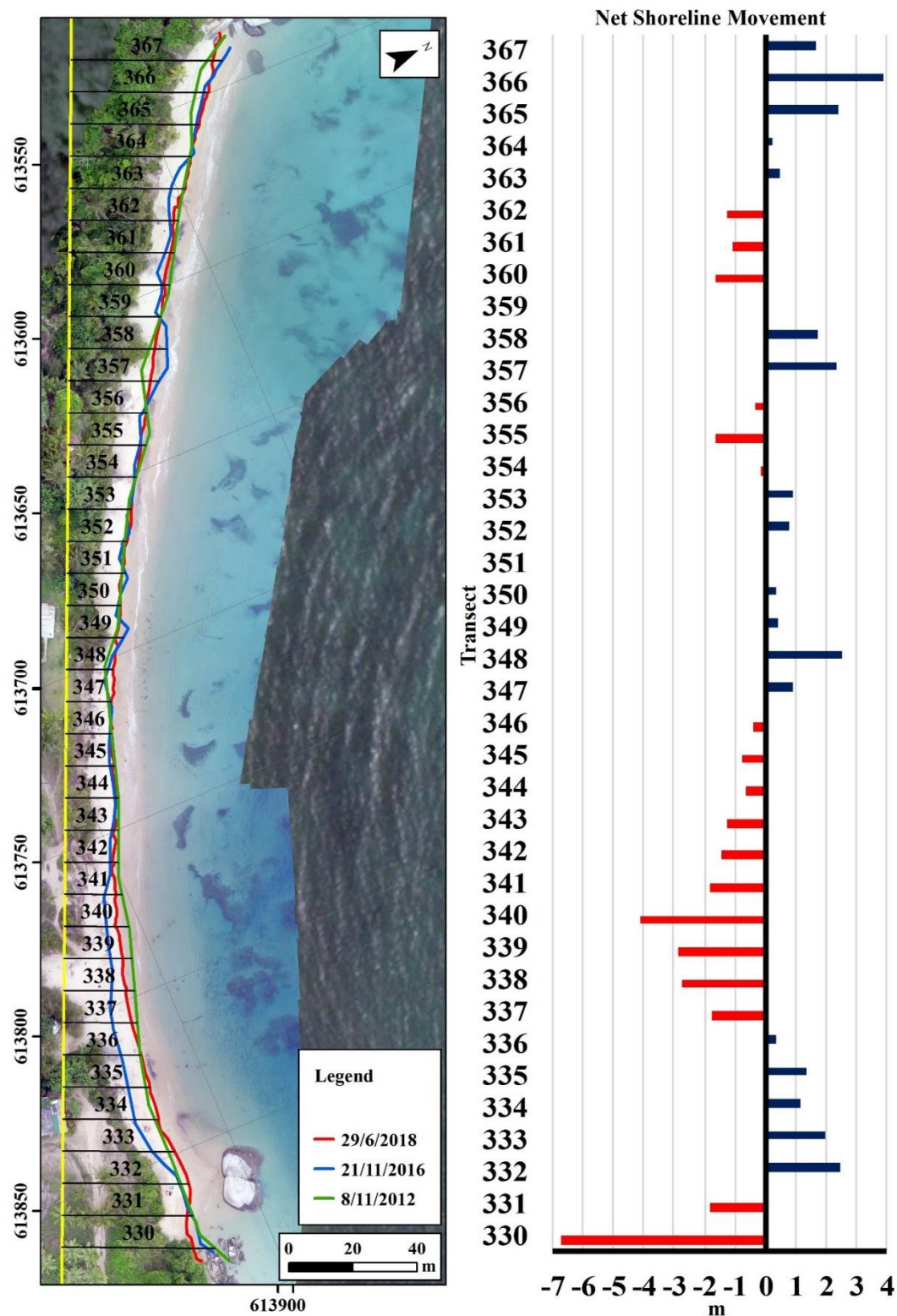


Figura 8.7 Variación de la línea de costa para la playa Piscina entre los años 2012 y 2018. Fuente: (Autor)



### 8.2.2 Arenilla

En la *Figura 8.8* que corresponde a la playa Arenilla, se observa que en los últimos 6 años se ha desplazado la línea de costa hacia el mar, presentando progradación en la playa. Entre los transectos 327 a 322 se presenta una acreción que va desde los 39,56 metros hasta los 51,22 metros, aumentando de oeste a este. Del transecto 322 al 315 se presenta una tendencia de acreción que aumenta de este a oeste que va desde los 38,82 metros hasta los 51,22 metros. La mayor progradación presentada en la playa se da entre los transectos 324 y 318 correspondientes al centro de la playa con desplazamientos que van de 46,94 metros a 51,22 metros, mientras que el menor desplazamiento hacia la acreción se presenta en los transectos 325, 326 y 327 con desplazamientos de 39,56 metros a 43,57 metros se encuentran ubicados al extremo oeste y el transecto 315, 316 y 317 con desplazamientos de 38,82 metros a 46,88 metros en el extremo este de la playa.

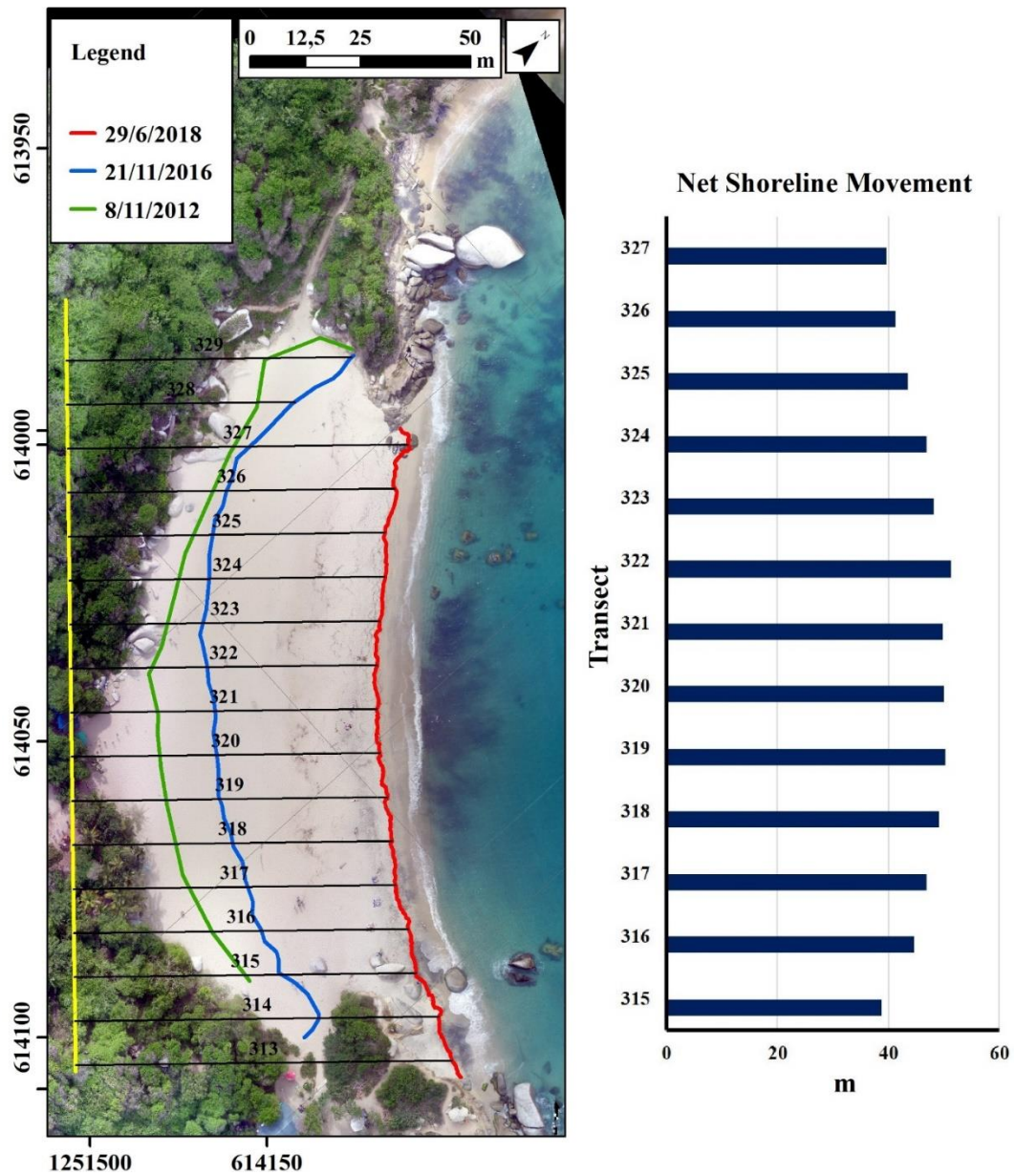


Figura 8.8 Variación de la línea de costa para la playa Arenilla entre los años 2012 y 2018. Fuente: (Autor)

### 8.2.3 Arrecifes

En la *Figura 8.9* que corresponde a la playa Arrecifes, se observa que en los últimos 6 años ha aumentado de manera progresiva el ancho de la playa, predominando en todos los transectos la progradación, variando el desplazamiento hacia el mar de un tramo a otro dependiendo de la ubicación de estos en la playa. De este a oeste se puede observar un aumento progresivo de la progradación entre el transecto 215 con 63,95 metros hasta el transecto 277 con 138,21 metros, el último transecto mencionado presenta el mayor avance hacia la acreción. Del transecto 277 al 311 se empieza a disminuir el avance hacia la acreción. El transecto que presenta menor avance hacia la acreción es el 311 con 21,38 metros ubicado al oeste de la playa. De manera particular entre los transectos 303 con 105,91 metros y el transecto 311 con 21,38 metros se observa un patrón muy pronunciado de disminución del avance hacia la acreción de este a oeste. A lo largo de toda la playa se observa que la forma en la cual varía la acreción genera tramos con formas cóncavas y convexas.

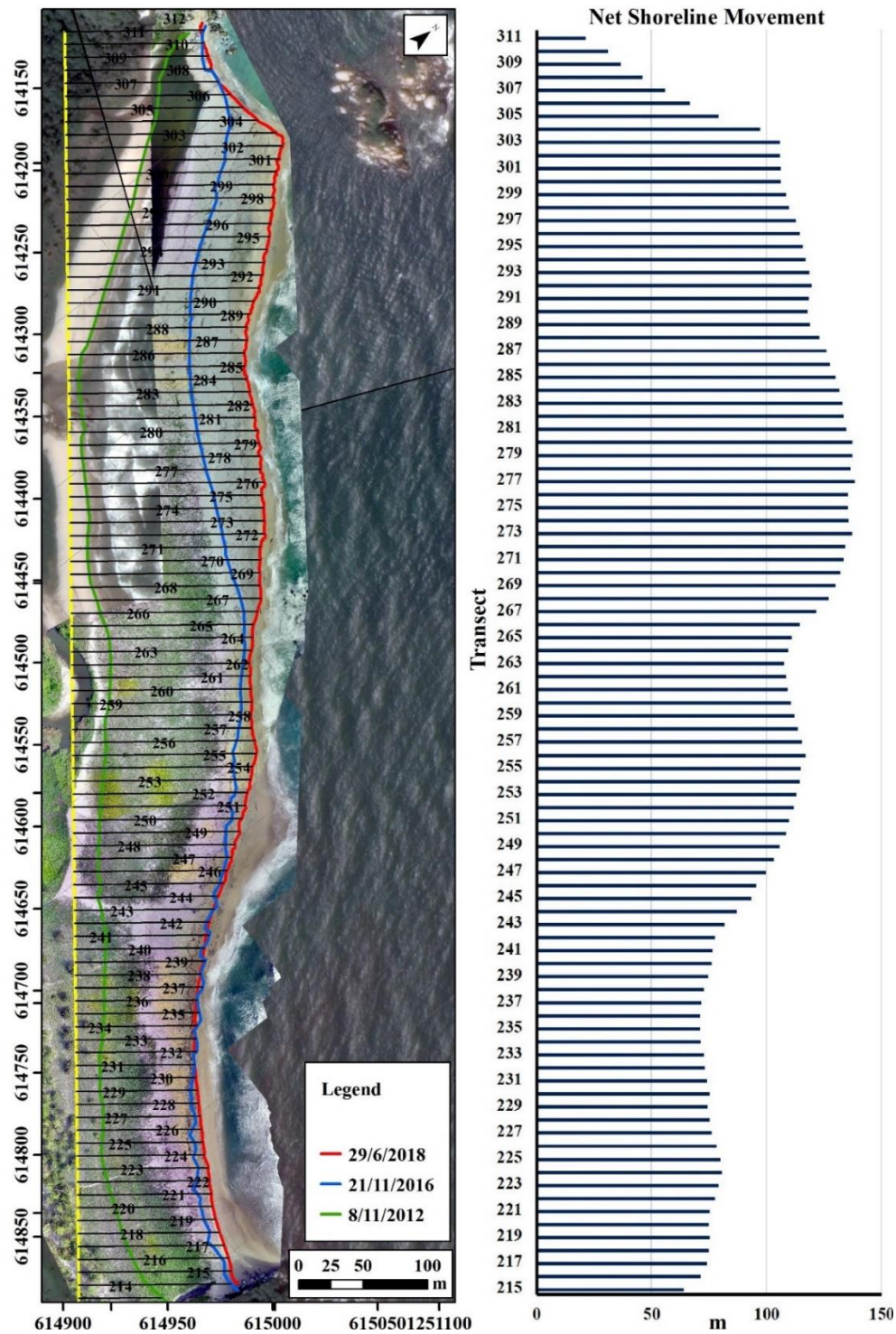


Figura 8.9 Variación de la línea de costa para la playa Arrecifes entre los años 2012 y 2018. Fuente: (Autor)

#### 8.2.4 La Gumarra

En la *Figura 8.10* que corresponde a la playa La Gumarra, se observa que en los últimos 6 años algunas zonas de la playa han sufrido de erosión y otras de progradación. Predominando la erosión o retrogradación. Los tramos que presentan erosión se encuentran ubicados entre los transectos 155 y 165 con avances desde -1,12 metros hasta -4,67 metros con una tendencia a aumentar el avance de la retrogradación de oeste a este y entre los transectos 189 al 211 con avances de -0,29 metros hasta 20,55 metros un patrón de crecimiento de este a oeste. El tramo que presenta progradación o acreción en la playa esta entre los transectos 166 y 188 con avances de 4,05 metros hasta 11,46 metros con una tendencia variable de crecimiento a la progradación que aumenta en el centro del área que abarcan los transectos mencionados anteriormente, de esta zona los tramos dentro de los transectos 166 y 172 aumenta el avance hacia la acreción de este a oeste y entre los transectos 173 al 188 de este a oeste tienden a disminuir de manera variable el avance hacia la acreción. Siendo en total dos áreas en toda la playa que presentan erosión y una que presenta acreción.



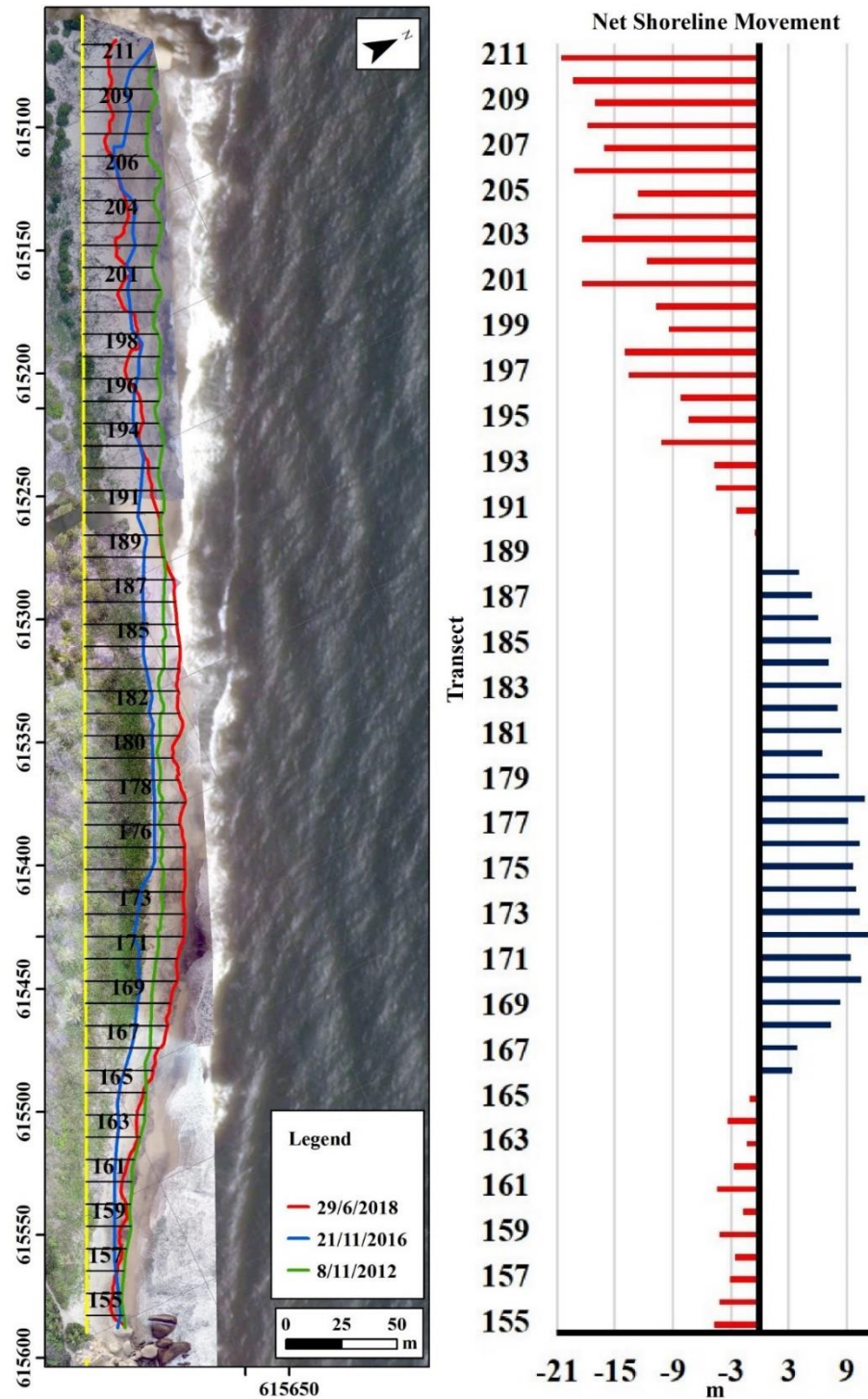


Figura 8.10 Variación de la línea de costa para la playa La Gumarra entre los años 2012 y 2018. Fuente: (Autor)

### 8.2.5 Príncipe San Felipe

En la *Figura 8.11* que corresponde a la playa Príncipe San Felipe, se observa que en los últimos 6 años el mar ha avanzado hacia la playa, reduciendo el área de esta y predominando la erosión. Encontrándose en retrogradación entre los transectos 138 y 154 con avances que van desde los  $-1,53$  metros hasta los  $-10,91$  metros, con una tendencia a aumentar la erosión que va de este a oeste, encontrándose el transecto 138 con el menor avance en el este de la playa y el transecto 153 con mayor avance al oeste de la playa. Solo se registra un sutil crecimiento hacia la acreción en los transectos 136 con  $0,09$  metros y el transecto 137 con  $0,26$  metros con una tendencia de crecimiento depreciable que va de este a oeste.

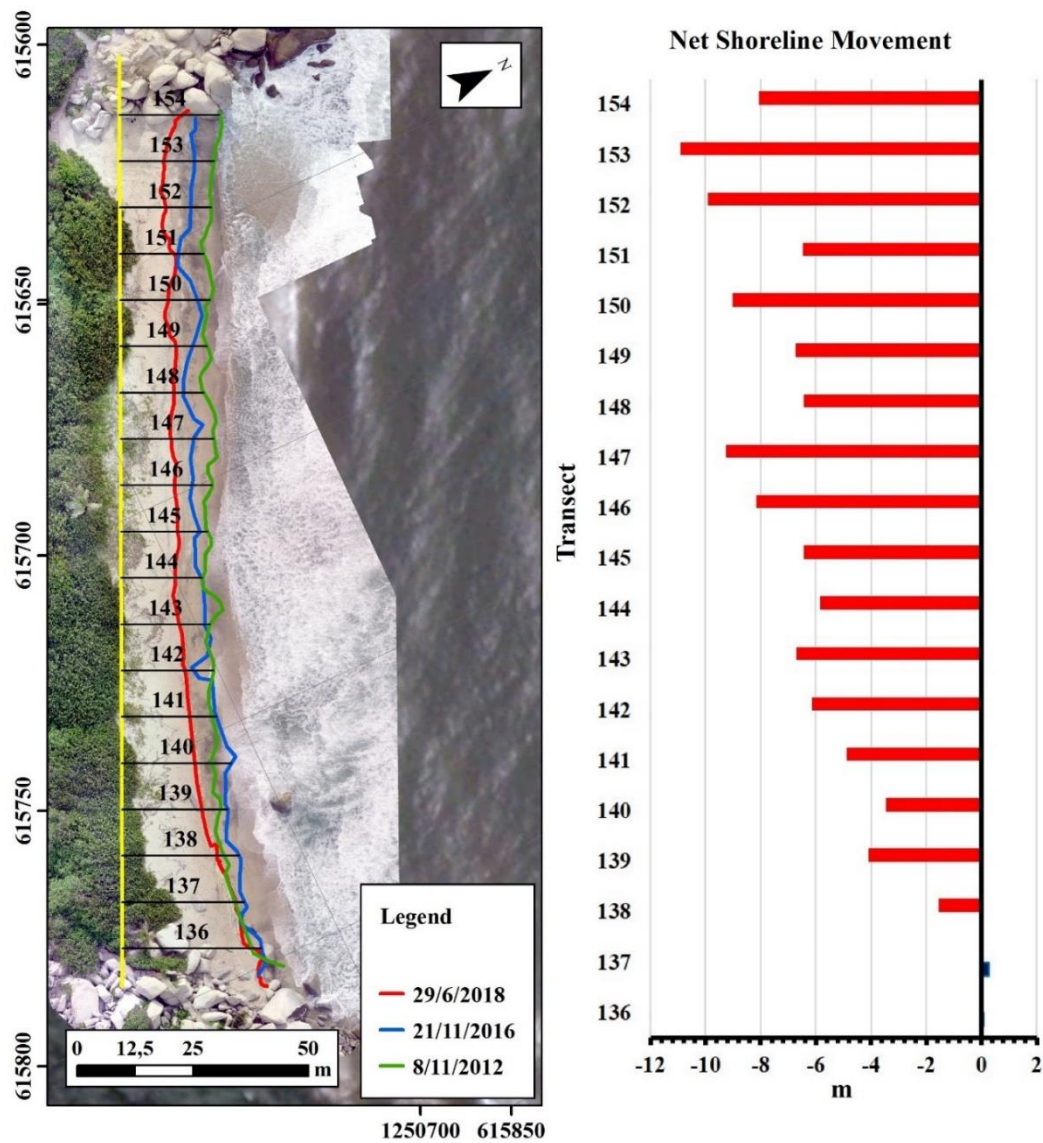


Figura 8.11 Variación de la línea de costa para la playa Príncipe San Felipe entre los años 2012 y 2018. Fuente: (Autor)



### 8.2.6 Piscinita

En la *Figura 8.12* que corresponde a la playa Piscinita, se observa que en los últimos 6 años en la mayoría de sus tramos predomina la erosión. Los espacios en blanco en esta figura indican las rocas que separan esta playa en tres tramos, contando los tramos de este a oeste, el primero va del transecto 114 al 120, el segundo va del transecto 126 al 131 y el tercero corresponde a los transectos 134 y 135. Teniendo en cuenta lo anterior el primer tramo presenta acreción entre los transectos 114 y 117 con avances que van de 1,07 metros a 4,51 metros, del transecto 114 al 116 el avance aumenta de este a oeste, pero en el transecto 117 se empieza a observar una disminución pronunciada del avance a la acreción.

Entre los transectos 118 y 120 del primer tramo se presenta erosión con avances que van de -2,72 metros hasta -10,33 metros, presentando un avance hacia la retrogradación de este a oeste entre los transectos 118 y 119, pero en el transecto 120 se empieza a observar una ligera disminución de la erosión. De este tramo el transecto 116 con 4,51 metros presenta el mayor avance hacia la progradación y el transecto 119 con -10,33 metros posee el mayor avance hacia la retrogradación. El transecto de este tramo que tiene el menor avance hacia la progradación es 117 con 1,07 metros y el transecto que tiene el menor avance hacia la retrogradación es el 118 con -2,72 metros. En el segundo tramo predomina la erosión con avances entre -13,29 metros y -20,80 metros con un patrón de crecimiento que va de este a oeste, el transecto con mayor avance a la erosión es el 121 con 20,80 metros y el transecto con menor avance a la erosión es el 126 con -13,29 metros. En el tercer tramo también predomina la erosión, presentando un crecimiento hacia la retrogradación de oeste a este, el transecto con el mayor avance es el 134 con -13,80 metros y el transecto con menor avance a la retrogradación es el 135 con -10,27 metros.

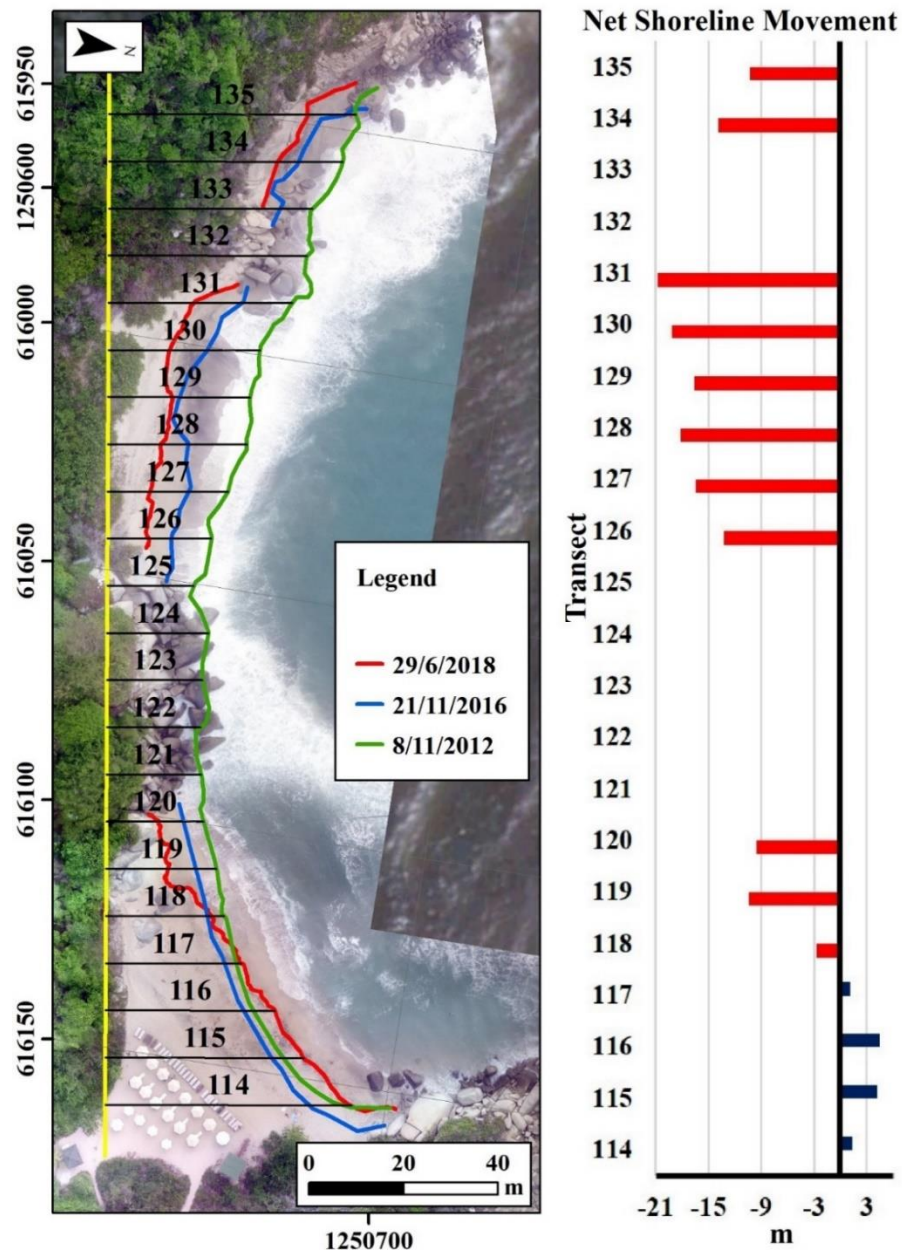


Figura 8.12 Variación de la línea de costa para la playa Piscinita entre los años 2012 y 2018. Fuente: ( Autor)

### 8.2.7 Cañaveral

En la *Figura 8.13* que corresponde a la playa Cañaveral, se observa que en los últimos 6 años se ha presentado en algunos tramos erosión y en otra acreción, pero predomina la erosión sobre la playa. La progradación o acreción se presenta en los extremos este y oeste de la playa y en un pequeño tramo próximo al centro, mientras que la erosión se presenta en los tramos del centro.

Los tramos que presenta acreción van entre los transectos 1 y 26 al este de la playa con avances que van desde 0,27 metros hasta 27,23 metros con un patrón de crecimiento muy variable. De este tramo el transecto 19 con 27,23 metros es el que presenta el mayor avance a la progradación, mientras que el transecto 4 presenta el menor avance con 0,27 metros. Solo se presenta una excepción en el transecto 10 el cual es el único que presenta erosión en el tramo este de la playa con un avance de -2,51 metros. El tramo cercano al centro que presenta acreción esta entre los transectos 42 y 54 con avances que van de 0,65 metros hasta 3,44 metros, tiene un patrón de avance muy variable que tiende a disminuir de oeste a este.

El transecto 50 con 3,44 metros presenta el mayor avance y el transecto 47 con 0,64 metros presenta el menor avance a la progradación. El tramo ubicado al oeste de la playa que presenta acreción esta entre los transectos 100 y 113 con avances de 0,35 metros hasta 18,60 metros con un patrón de crecimiento que aumenta de oeste a este entre los transectos 113 y 110, el patrón de crecimiento empieza a disminuir de oeste a este entre los transectos 109 y 100.

El transecto que presenta el mayor avance a la acreción es 110 y el que tiene el menor avance es 100. De los tres tramos que presentan acreción el que tiene menor avance a la progradación es el tramo próximo al centro de la playa, mientras que los tramos ubicados al este y oeste de la playa presentan avances considerables hacia el mar. Uno de los tramos que presenta erosión está ubicado entre los transectos 27 y 41 con avances de -1,23 metros hasta -12 metros,

con un patrón de avance que aumenta de oeste a este, el transecto 27 presenta el mayor avance a la erosión y el transecto 41 presenta el menor avance a la retrogradación.

El otro tramo que presenta erosión o retrogradación está ubicado entre los transectos 55 y 99 con avances de -1,10 metros hasta los -8,31 metros, presenta un patrón de avance que aumenta entre los transectos 85 y 99 de oeste a este, pero desde el transecto 84 hasta el 55 el patrón de avance a la erosión es muy variable alternándose entre disminuir y aumentar. En este tramo el transecto que presenta mayor avance a la retrogradación es el 67 y el que presenta menor avance a la erosión es el 99. En total tres tramos presentan progradación y dos retrogradaciones, pero los tramos que presentan erosión abarcan más longitud de playa que los que presentan acreción.

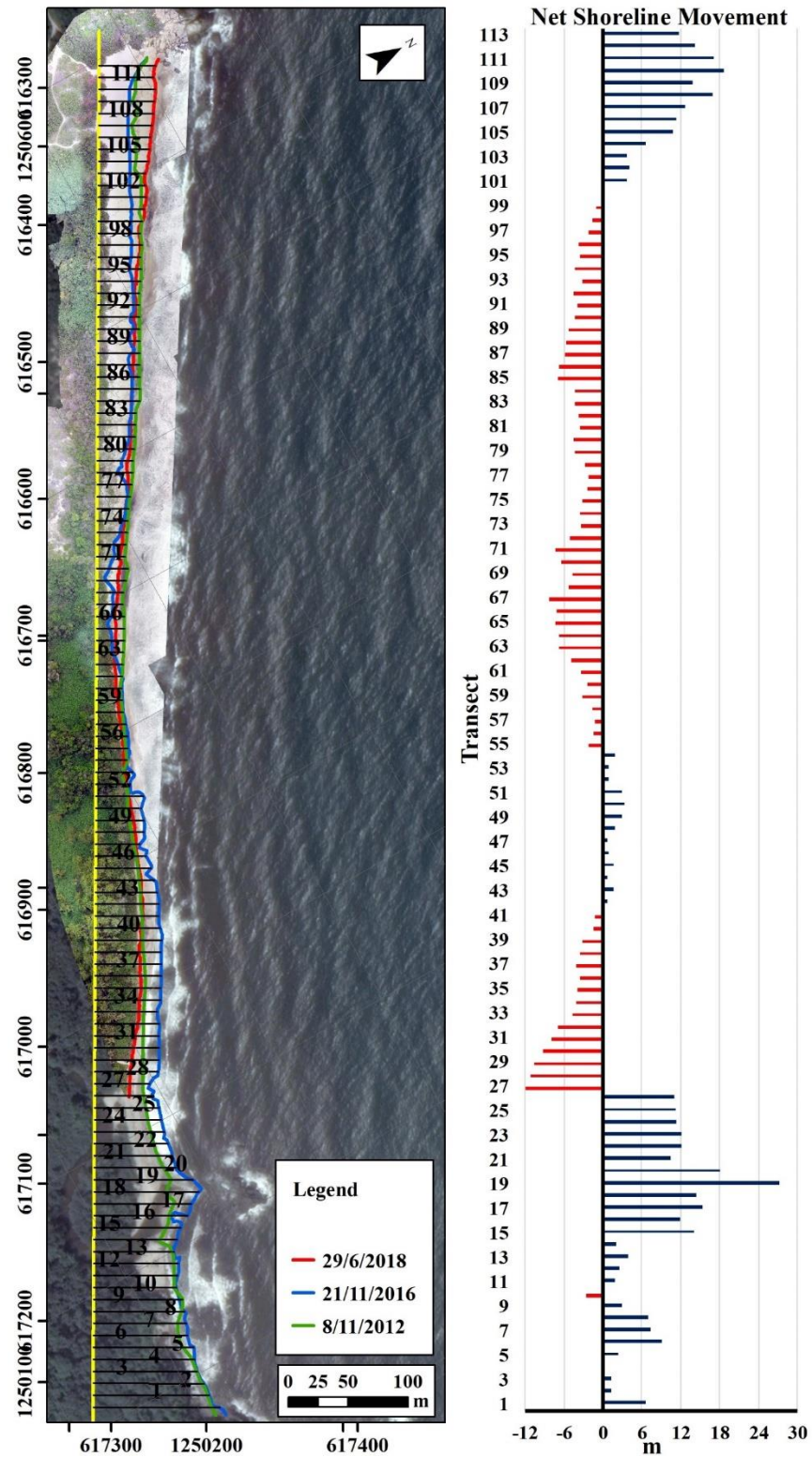


Figura 8.13 Variación de la línea de costa para la playa Cañaveral entre los años 2012 y 2018. Fuente: (Autor)

### 8.3 Cuenca hidrográfica

En la

*Figura 8.14 y Figura 8.15* se presentan los mapas de red de drenajes. En este se identifica el curso principal del río Piedras, y los aportantes secundarios para el área de estudio. El análisis del área de las cuencas hidrográficas, para los principales ríos que fluyen hacia el área de estudio, mostró que la cuenca hidrográfica de Piedras tiene la mayor área de drenaje (160,44 km<sup>2</sup>). Los demás ríos presentes en el PNN- Tayrona tienen cuencas hidrográficas de medianas a pequeñas, con áreas de 5,70 km<sup>2</sup> para el río Cañaveral; 0,33 km<sup>2</sup> para el río 3; 1,14 km<sup>2</sup> para el río Santa Rosa; 9,22 km<sup>2</sup> para el río 2; y 0,20 km<sup>2</sup> para el Río 1 (*Figura 8.15*) (Manzolli et al., 2020).

Por lo anterior también podemos observar en más detalle en la

*Figura 8.14* que hay pequeñas cuencas a lo largo de la línea de costa del área de estudio que alimentan en menor medida las playas del litoral con sedimentos provenientes del flujo de pequeños cuerpos de agua.

*Figura 8.14 Mapa con la delimitación de las cuencas hidrográficas con aportes en el área de estudio.*

*Fuente: (Autor)*

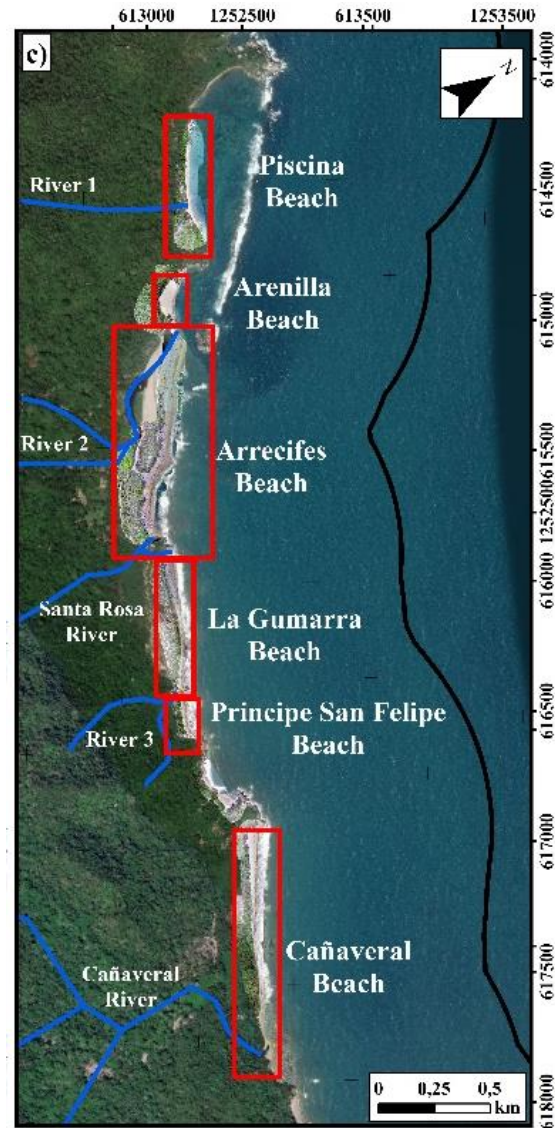


Figura 8.15 Principales ríos con aportes en el área de estudio. Fuente: (Manzoli et al., 2020)

## 9. Discusión

Parte de la discusión y conclusión de esta tesis es parte del artículo:

**Magnitude and causes of beach accretion on the eastern margin of the Tayrona National Natural Park (Colombian Caribbean).**

**Rogério Portantiolo Manzolli, Luana Portz, Diego Andres Villate Daza, Manuel Díaz**

**Contreras, Laura Carolina Padilla Jimenez, Javier Alcántará-Carrió**

**Journal of Coastal Research SI 95 299–303 (2020) (Manzolli et al., 2020).**

Los procesos naturales y las actividades humanas modifican continuamente la costa, la detección precisa de los cambios proporciona información sobre la dinámica costera y, por lo tanto, es muy importante para las medidas de planificación. Los principales cambios históricos en la costa a lo largo de la costa caribe colombiana reflejan eventos erosivos y acumulativos, este último en zonas muy localizadas (Correa et al., 2005). La erosión de la costa caribe colombiana parece haberse acelerado desde los años 70 y 80 con el crecimiento de las ciudades costeras (Navarrete-Ramírez, 2014). Aproximadamente el 50% de esta área (de gran importancia para el país) está experimentando procesos erosivos que resultan en la retirada de las costas. Los factores que influyen en la erosión son los desequilibrios sedimentarios, las olas extremas, el aumento del nivel del mar y la destrucción de los ecosistemas naturales (Rangel-Buitrago et al., 2016).

Las tasas de erosión en el Caribe colombiano son muy variadas (ver ejemplos, Molina et al., 1998; Correa, 1992; Rangel-Buitrago y Posada-Posada, 2005 ; Correa y Vernet, 2004). Las tasas más altas de retirada de la costa se han registrado para los departamentos de Córdoba y Atlántico, con  $-56.6$  y  $-29.5$  m  $\cdot$  año $^{-1}$  respectivamente. Otros sectores mantienen tasas entre  $-1.7$  (áreas urbanas de Cartagena) y  $-4$  m  $\cdot$  año $^{-1}$  (playas de Riohacha). En el departamento de



Magdalena, donde se ubica este estudio, se han observado tasas máximas de  $-15 \text{ m} \cdot \text{año}^{-1}$  (sector Ciénaga- Tasajera) (INGEOMINAS et al., 2008). En contraste con esta tendencia erosiva generalizada, se observó acreción en las playas de PNN-Tayrona. Así, para el período 1958-2004, a pesar de que se identificaron procesos erosivos en las playas adyacentes, alcanzando valores promedio de  $-3,23 \text{ m} \cdot \text{año}^{-1}$ , las playas del PNN-Tayrona mostraron una relativa estabilidad e incluso acreción, con un valor máximo de  $0,97 \text{ m} \cdot \text{año}^{-1}$  (Rangel Buitrago, 2008).

El presente estudio muestra que esta tendencia de acreción resultó más expresiva para el período 2002-2018, con una tasa máxima de  $13,69 \text{ m} \cdot \text{año}^{-1}$  para la playa de Arrecifes. Por otro lado, las playas de Cañaveral y Piscina presentaron erosión. Un informe técnico presentado por INVEMAR (2016) también identificó una mayor regresión en las playas de Cañaveral y Piscina, donde una escarpa formada por una pequeña terraza retrocedió considerablemente.

El análisis de los factores que desencadenan estos procesos, como la identificación de fuentes de sedimentos, su redistribución o transporte, así como las pérdidas debidas a eventos extremos y presiones antrópicas, es esencial para comprender estas tendencias sedimentarias de las playas.

EL autor (Restrepo Ángel, 2005) expresa el término “continuidad hidrológica”, el cual se refiere a considerar como unidad única a la interacción entre la cuenca hidrográfica y la zona del litoral, dado que es fundamental para el estudio de manejo de zonas costeras, reconociendo la importancia de la calidad del agua de los ríos sobre la sostenibilidad de los ambientes costeros y el impacto en la morfología por la deposición de sedimentos.

En el PNN-Tayrona yacen gran cantidad de cuencas hidrográficas, destacándose dos sistemas de drenaje, el sistema marítimo formado por conjuntos de pequeñas quebradas, arroyos y caños que fluyen directamente al mar deslizándose por las laderas y el sistema continental,

formado por las quebradas que van a desembocar al río piedras. Al occidente las cuencas existen en cauces reducidos o permanecen secas durante gran parte del año, otras se infiltran dentro de los suelos directamente al mar apareciendo en pequeñas lagunas cerca de la playa, al oriente, los caudales van aumentando de a poco, conservándose durante todo el año (Sanchez Ospina y Vega Romero, 2009).

La entrada de sedimentos puede evaluarse por el tamaño de la cuenca de drenaje de los ríos que llegan a las playas. La cuenca de drenaje más grande en el área de estudio es para el río Piedras, que suministra sedimentos al margen oriental de la playa de Cañaveral.

La redistribución de sedimentos se debe principalmente a las corrientes costeras inducidas por las olas. En el área de estudio, estas corrientes costeras predominan hacia el oeste (Morales et al., 2001), promoviendo un aporte sedimentario significativo desde la desembocadura del río Piedras a toda la playa de Cañaveral, así como a las otras playas analizadas. La geomorfología de las playas del PNN-Tayrona se presenta como embalses con promontorios rocosos en sus extremos, ya que el espacio de alojamiento para cada una de las playas varía con la batimetría. Luego, el llenado de las playas sigue una tendencia de este a oeste, después de la dirección predominante de deriva litoral. La playa Arenilla presenta una tendencia de acreción y la acreción podría comenzar en breve en la playa Piscina.

La playa de Cañaveral tiene estabilidad, erosión y acreción asociadas con eventos meteorológicos. Como resultado, la derivación de sedimentos a las playas de Príncipe San Felipe y La Gumarra proporciona tasas variables de erosión y acreción, con una tendencia general de acreción. Las playas de Arrecifes y Arenilla tienen las tasas más altas de acreción, sin períodos erosivos. Esto indica que la entrada sedimentaria es continua, tanto por la deriva litoral como por la cuenca de drenaje.

Piscina, la playa más occidental, es la única que presenta una tendencia a la erosión y la presencia de una escarpa. También presenta un perfil de playa más disipativo en comparación con las otras playas analizadas. Evidencia la llegada de olas que erosionan la costa e impactan sobre el acantilado.

Desde 1980, los eventos de olas más fuertes que afectan la costa del Departamento de Magdalena, donde se encuentran las playas de PNN-Tayrona, ocurrieron durante el paso de los huracanes Joan (1988) y Lenny (1999), con alturas de olas significativas que alcanzaron o superaron los 6 m. Entre 2000 y 2009 otros cinco eventos extremos con altura de ola significativa (hasta 5,4 m) alcanzaron este tramo costero (Rangel Buitrago, 2008). En 2016, el paso del huracán Matthew provocó fuertes precipitaciones y fuertes alturas de las olas, con olas que contribuyeron a la erosión en la mayoría de las playas, a excepción de las playas Arrecifes y Arenilla, que mantuvieron su tendencia de acreción.

Por otro lado, el periodo de 2010/2011 estuvo marcado por un fuerte evento de La Niña, en el que noviembre y diciembre de 2010 registraron precipitaciones mucho más altas que el promedio (IDEAM, 2018). Resultó en un gran aporte sedimentario.

Las actividades humanas en el área pueden producir perturbaciones en los procesos sedimentarios, por ejemplo, en la entrada sedimentaria a través de la cuenca de drenaje. La ocupación humana del PNN-Tayrona es muy baja, aunque ha presentado en los últimos 30 años un aumento de las actividades turísticas de playa. Sin embargo, las actividades locales como el uso de caballos (alrededor de 200-250 animales) para acceder al PNN-Tayrona pueden estar generando la movilización de sedimentos.

El desarrollo de actividades turísticas en las playas colombianas constituye un componente importante en la economía y cultura de la población del país. Para aumentar la productividad de

este sector, en las últimas décadas se ha fomentado la promoción de usos recreativos en la playa para turistas nacionales y extranjeros. Sin embargo, la gran demanda de turismo y su mala gestión y control han provocado que muchas de las playas sufran un proceso de deterioro, por lo que consideran el turismo como un tensor ambiental (INVEMAR, 2016). Sería aconsejable un análisis más detallado de las rutas de los caballos, su ubicación e impacto para el plan de manejo del Parque.

En un estudio realizado por (INVEMAR-GEO, 2014) al recolectar información encontró que los perfiles de playa para bahía concha tienen una pendiente de  $7^\circ$  con estabilidad; Bahía Chengue tiene una pendiente  $13^\circ$  no siendo muy estable en términos de la dinámica del perfil, Bahía de Gayraca tiene una pendiente de  $10^\circ$  con un perfil estable, La playa de las 7 olas tiene una pendiente de  $4^\circ$  con una dinámica de perfil que varía mucho, Bahía de Neguanje tiene una pendiente de  $10^\circ$  variando mucho la dinámica del perfil por una alternancia pronunciada de erosión y acreción, Bahía de Cinto tiene una pendiente de  $13^\circ$  con un perfil inestable, Playa arrecife presenta una pendiente de  $11^\circ$  con perfil de tendencia fuerte a la acreción, por posible aporte sedimentario de los ríos piedras, Guachaca, Buritaca, don diego y palomino los cuales desembocan al este del PNN-Tayrona, en el caso de playa la gumarra tiene un perfil de  $8^\circ$  con un perfil inestable dominado estacionalmente por la erosión y la sedimentación.

Encontrando que las características de los perfiles de playa varían en todo el PNN-Tayrona, en comparación con los datos mencionados anteriormente se puede decir que los perfiles de la playa arrecifes con valor mínimo de frente de playa de  $1,59^\circ$  (Disipativo) y máximo de  $21,34^\circ$  (Reflejante) presentan pendientes relativamente altas ubicando a estas playas en el estado disipativo, debido al número de perfiles de esta playa que salieron disipativos, a pesar de esto no parece perder su tendencia a la acreción la cual predomina fuertemente en la playa, por lo que su

estado disipativo se puede decir que es muy cercano al extremo reflejante, además que las playas de este último estado suele tener sedimentos de tamaños grueso, esto se dice teniendo en cuenta que son 6 los estados morfodinámicos y que el estado reflejante y disipativo son extremos opuestos, por lo que el método usado en este estudio solo permite saber si una playa es reflejante o disipativa. Por lo anterior se puede decir que playa Arrecifes continúa con su tendencia a la acreción al revisar resultados de estudios ya realizados con los datos obtenidos en este estudio.

Playa arenilla con valores de pendiente mínimo de  $8,06^{\circ}$  y máximo de  $14,12^{\circ}$  también sigue la misma tendencia a la acreción y de estado disipativo al igual que playa arrecifes, siendo de todo el estudio realizado las playas que más acreción han presentado en el periodo de tiempo analizado.

A nivel general se puede decir que la playa Piscina tiene valores de pendientes mínimos de  $4^{\circ}$  (Disipativo) y máximo de  $11,01^{\circ}$  (Disipativo) con una tendencia pura al estado disipativo, en la playa Príncipe san Felipe tiene valores de pendiente mínimos de  $5,81^{\circ}$  (Disipativo) y máximo de  $20,94^{\circ}$  (Reflejante) con una tendencia dominante del estado disipativo, en la playa Piscinita el valor de la pendiente mínimo es  $5,81^{\circ}$  y máximo es  $11,41^{\circ}$  siendo todos los perfiles de esta playa disipativos. La única playa que presenta predominancia del estado reflejante es cañaveral con un valor de pendiente mínimo de  $13,54^{\circ}$  y máximo de  $24,47^{\circ}$ , con solo dos perfiles que son disipativos.

El autor (INVEMAR-GEO, 2014) presenta los valores de pendientes de 8 perfiles de playa del lado oeste del PNN-Tayrona y este estudio presenta los perfiles de 6 playas del lado este del parque, por lo que solo se pudo comparar con datos históricos el perfil de arrecife confirmando que sigue la misma tendencia de acreción expuesta por el estudio anteriormente citado, ya que ese autor solo profundiza en la estabilidad del perfil y esta investigación en cambio profundiza

sobre los estados morfodinámicos de los perfiles medidos, aunque es posible que en las playas del extremo oeste estudiadas por el anterior autor sean disipativas debido al valor de sus pendientes registradas por este.

Un autor que clasifica los perfiles según su estado morfodinámico es (Cueto Fonseca y Otero Díaz, 2018) el cual dice que la playa de costa verde ubicada en ciénaga magdalena tiene un estado morfodinámico intermedio – reflejante con arenas medias, lo cual indica que dependiendo de las condiciones presentadas en cada playa del departamento del magdalena es que tendrán su predominancia hacia el estado disipativo o reflejante a pesar de dominar en el PNN-Tayrona el estado disipativo. Ahora (Peña Guerrero, 2017) el cual usa la fórmula de Wright et al.( 1984) para definir el estado de algunas playas del caribe colombiano, es más específico respecto al estado morfodinámico de la playa costa verde clasificándola como perfil de Barra Transversal y corriente de retorno. Fuera del departamento clasifico las playas puerto velero con disipativa, playa manzanillo como disipativa, playa Bocagrande como barra longitudinal y seno, playa san Bernardo como barra y playa rítmica, playa berrugas como barra- canaleta, playa Tolu como barra transversal y corriente de retorno, playa Coveñas como perfil reflejante, playa tonajones como barra y playa rítmica, playa Riohacha y playa pájaro como barra longitudinal y seno. Ahora (Cueto Fonseca y Otero Díaz, 2018) clasifico la playa boca grande como como disipativa con arenas finas.

## 10. Conclusión

Los procesos geomorfológicos modifican continuamente el litoral proporcionando información sobre la dinámica costera y las transferencias sedimentarias. La detección precisa de cambios para la línea costera es, por lo tanto, muy importante para las medidas de planificación.

Este estudio muestra que durante un período de estudio los procesos de acumulación en las playas son dominante en el sector oriental del PNN-Tayrona. Estas tendencias de acreción son el resultado de diferentes factores, tales como: i) un suministro efectivo de sedimentos del río Piedras, que fluye en el margen este del área de estudio; ii) una deriva litoral efectiva hacia el oeste por las corrientes costeras, con el paso de sedimentos a través de los pequeños promontorios que limitan las playas, iii) un aumento de los aportes de sedimentos durante los eventos de La Niña; iv) un bajo impacto de los huracanes, siendo los efectos del huracán Matthew compensado luego por los procesos sedimentarios costeros naturales, y v) un bajo impacto de las actividades humanas, a pesar del efecto de las rutas a caballo para el turismo que deben analizarse mejor.

En resumen, el mantenimiento de los aportes naturales de sedimentos y la resistencia de las playas al bajo impacto de los eventos extremos (es decir, los huracanes), combinados con una baja presión humana, permiten un buen presupuesto sedimentario para las playas. Por otro lado, la playa de Piscinas es la más aislada del aporte de sedimento fluvial y, a pesar de tener una barrera de arrecife de coral, su perfil disipativo indica que está más expuesta al impacto de las olas y de los fenómenos meteorológicos extremos.

Respecto a los estados morfodinámicos solo la playa cañaveral termino siendo de forma predominante reflejante, el resto fueron en mayor medida en función del resultado y números de perfiles clasificados disipativas. Debido al valor de las pendientes del frente de playa registrados

por (INVEMAR-GEO, 2014) es probable que el estado disipativo predomine en la mayoría de las playas del PNN-Tayrona, Aun así para confirmar esto hace falta más estudios al respecto que permitan identificar los estados morfodinámicos generales del tramo oeste de las playas del PNN-Tayrona o una investigación más detallada que permita clasificar los perfiles de playa según los estados morfodinámicos de Wright et al. (1984) para poder conocer a más detalle el comportamiento de las playas a lo largo del tiempo.

Las playas con mayor acreción son playa Arrecifes y playa Arenilla, el resto de playas no presenta una progradación marcada o tienen variación entre tramos que presentan erosión y acreción. Ahora respecto a la fuente principal de sedimentos del parque, a pesar de este estar compuesto de muchas cuencas hidrográficas, debido a su extensión y flujo el Rio Piedras es la fuente principal de sedimentos para las playas del área de estudio.



## **11. Recomendaciones**

De acuerdo con la información recolectada y analizada en este estudio sobre las tendencias hacia la acreción y erosión de las playas del PNN-Tayrona ubicadas en el lado este de esta reserva natural se aconseja lo siguiente:

- Realizar más investigaciones de este tipo que permitan determinar los cambios en la tasa sedimentaria de los próximos años en los tramos este y oeste del litoral de esta zona protegida con el fin de asegurar a futuro la conservación del ecosistema costero del PNN-Tayrona y generar conocimientos que sirvan como base para las actualizaciones del plan de manejo del parque.
- Realizar un estudio detallado de las rutas de los caballos que circulan dentro del PNN-Tayrona que incluya frecuencias de recorrido a lo largo de un periodo de tiempo que permita determinar la cantidad y destino final de los sedimentos transportados por estos animales.
- Realizar estudios sobre métodos o medidas que se puedan tomar con los caballos para evitar el transporte de sedimento de estos con sus cascos al circular dentro del PNN-Tayrona.
- Replicar este estudio con otros métodos de recolección de información de datos geográficos que permita comparar a futuro y determinar cuáles son las técnicas de recolección de datos más efectivas para la realización de estos estudios.

## 12. Referencias

- Acosta, I., y Díaz, J. (1990). Estudio ecológico integrado de la zona costera de Santa Marta y el Parque Nacional Natural Tayrona. pp. 80–99.
- Acuerdo No 4 del 24 de abril de 1969. , (1969).
- Afanador Franco, F., Carvajal Díaz, A. F., Franco Arias, D. A., Orozco Quintero, F. J., Pacheco Gómez, J. D., y Santos Barrera, Y. (2013). Atlas Geomorfológico del Litoral Caribe Colombiano. <https://doi.org/https://doi.org/10.26640/9789585772373.2013>
- Ai, B., Zhang, R., Zhang, H., Ma, C., y Gu, F. (2019). Dynamic process and artificial mechanism of coastline change in the Pearl River Estuary. *Regional Studies in Marine Science*, 30, 100715. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2019.100715>
- ArcGIS. (2020). Crear cuencas hidrográficas. Recuperado el 15 de julio de 2020, de ArcGIS website: <https://enterprise.arcgis.com/es/portal/10.6/use/create-watersheds.htm>
- Arcilla Conejo, A. S., y Jiménez, J. A. (1994). Ingeniería de playas (I): conceptos de morfología costera. *Ingeniería del agua*, 1(2), 97–114. <https://doi.org/10.4995/ia.1994.2639>
- Armada Española. (2017). Línea de costa. Recuperado el 9 de agosto de 2019, de <http://www.armada.mde.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspannola/cienciainhm1/prefLang-es/02ProductosServicios--08InfoInteres>
- Ávila Armella, A. (2007). PROCESOS DE MÚLTIPLE ESCALA EN LA EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA (Universidad de granada). Recuperado de <http://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/1730/1724545x.pdf?sequence=1&isAllowed=>

y

Barbosa-Rojas, A. L., Castro-Fajardo, A. M., Cifuentes-Gil, Y. L., Diaz-Melo, J. J., Gómez-

Cano, F. A., Ramírez-Castañeda, V., ... Landinez-Macias, M. P. (2012). Estudio Regional Continental Del PNN Tayrona y Zonas Aledañas (Rodadero). Recuperado de

<http://bdigital.unal.edu.co/9232/1/gabrielpinilla.2012.pdf>

Bird, E., y Lewis, N. (2015). Causes of Beach Erosion. En SpringerBriefs in Earth Sciences.

<https://doi.org/DOI> [https://doi.org/10.1007/978-3-319-09728-2\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-09728-2_2)

Bruun, P. (1962). Sea-Level Rise as a Cause of Shore Erosion. Journal of the Waterways and Harbors Division, 1, 117–132.

Buchanan, M. K. (2019). Chapter 4 : Sea Level Rise and Implications for Low Lying Islands ,

Coasts and Communities. En IPCC SR Ocean and Cryosphere (pp. 1–169). Recuperado de

[https://report.ipcc.ch/srocc/pdf/SROCC\\_FinalDraft\\_Chapter4.pdf](https://report.ipcc.ch/srocc/pdf/SROCC_FinalDraft_Chapter4.pdf)

Cadena, M. C., y Rodriguez Castro, L. (s/f). DESCRIPCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE VARIABLES OCEÁNO-ATMOSFÉRICAS DE LAS ÁREAS MARINAS DE COLOMBIA. Recuperado de

[http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/meteorologiamarina\\_textoCaribe.pdf](http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/meteorologiamarina_textoCaribe.pdf)

Calliari, L. J., Muehc, D., Hoefel, F. G., y Toldo Jr., E. (2003). Morfodinâmica praial: uma breve revisão. Revista Brasileira de Oceanografia, 51(unico), 63–78.

<https://doi.org/10.1590/s1413-77392003000100007>

Carbonó-Delahoz, E., y García-Q, H. (2010). LA VEGETACIÓN TERRESTRE EN LA ENSENADA DE NEGUANJE, PARQUE NACIONAL NATURAL TAYRONA

(MAGDALENA, COLOMBIA) Terrestrial vegetation at Neguanje cove, Tayrona National Natural Park (Magdalena, Colombia) BOTÁNICA-FLORÍSTICA. En Caldasia (Vol. 32).

Recuperado de <http://www.icn.unal.edu.co/>

Codignotto, J. O. (1997). Geomorfología y dinámica Costera. El mar argentino y sus recursos pesqueros, pp. 89–105. Recuperado de

[https://www.oceandocs.org/bitstream/handle/1834/1721/Codignotto\\_T1\\_89-105.pdf?sequence=1](https://www.oceandocs.org/bitstream/handle/1834/1721/Codignotto_T1_89-105.pdf?sequence=1)

Colmenares B., F. H., Mesa R., A. M., Roncancio G., J. H., Arciniegas M., E. G., Pedraza C., P.

E., Cardona M., A., ... Vargas B., A. F. (2007). GEOLOGÍA DE LA PLANCHAS 11, 12, 13, 14, 18, 19, 20, 21, 25, 26, 27, 33, 34 Y 40. PROYECTO: “EVOLUCIÓN GEOHISTÓRICA DE LA SIERRA NEVADA DE SANTA MARTA” CONTRATO.

Recuperado de

<http://recordcenter.sgc.gov.co/B12/23008010018162/documento/pdf/2105181621101000.pdf>

COLPARQUES. (2018). TAYRONA - COLPARQUES - PARAÍSO POR DESCUBRIR EN

COLOMBIA. Recuperado el 15 de mayo de 2019, de

<http://www.colparques.net/TAYRONA>

CORIMAT. (s/f). Erosión - CORIMAT. Recuperado el 26 de enero de 2020, de

<https://corimat.net/es/erosion/>

Correa, I.D. (1992). Erosión y sedimentación litoral de la línea de costa entre Turbo y Necoclí.

Golfo de Urabá-Departamento de Antioquia (p. 345). p. 345. Medellín: Universidad EAFIT.

Correa, I.D, Alcántara-Carrió, J., y González, R. (2005). Historical and Recent Shore Erosion Along the Colombian Caribbean Coast. *Journal of Coastal Research* (Proceedings of the 2nd Meeting in Marine Sciences), (49), 52–57. Recuperado de <http://www.cerf-jcr.org/images/stories/52a.pdf>

Correa, I.D, Ferreira, O., Alcántara - Carrió, J., Islas, F., Alvarado, M., Klein, A. H. ., ... Sandoval, R. (2009). Métodos en Teledetección Aplicada a la Prevención de Riesgos Naturales en el Litoral (Ciencia y). Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/259615636\\_Metodos\\_en\\_teledeteccion\\_aplicada\\_a\\_la\\_preencion\\_de\\_riesgos\\_naturales\\_en\\_el\\_litoral](https://www.researchgate.net/publication/259615636_Metodos_en_teledeteccion_aplicada_a_la_preencion_de_riesgos_naturales_en_el_litoral)

Correa, Iván D., y Vernet, G. (2004). Introducción al problema de la erosión litoral en Urabá (Sector Arboletes–Turbo) Costa Caribe colombiana. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR*, (33), 5–26. Recuperado de [https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/1601/Introducción al Problema de la Erosión Litoral en Uraba.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/1601/Introducción%20al%20Problema%20de%20la%20Erosión%20Litoral%20en%20Uraba.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Crowell, M., Leatherman, S. P., y Buckley, M. K. (1991). Historical Shoreline Change: Error Analysis and Mapping Accuracy. *Journal of Coastal Research*, 7, 839–852. <https://doi.org/10.2307/4297899>

Cueto Fonseca, J. E., y Otero Díaz, L. J. (2018). RESPUESTA MORFODINÁMICA DE LAS PLAYAS DEL CARIBE COLOMBIANO ANTE EVENTOS EXTREMOS DE OLEAJE. RESPUESTA MORFODINÁMICA DE LAS PLAYAS DEL CARIBE COLOMBIANO ANTE EVENTOS EXTREMOS DE OLEAJE, 1–2. Recuperado de [https://www.ina.gob.ar/congreso\\_hidraulica/resumenes/LADHI\\_2018\\_RE\\_210.pdf](https://www.ina.gob.ar/congreso_hidraulica/resumenes/LADHI_2018_RE_210.pdf)

Cuevas Jiménez, A., y Euán Ávila, J. (2009). Morfodinámica del perfil de playa con sedimentos carbonatados en la Península de Yucatán. *Ciencias Marinas*, 35, 307–319. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/ciemar/v35n3/v35n3a6.pdf>

Dean, R. G. (1973). Heuristic Models of Sand Transport in the Surf Zone - Robert George Dean - Google Libros. First Australian Conference on Coastal Engineering, 1973: Engineering Dynamics of the Coastal Zone, (0858250292), 215–221. Recuperado de [https://books.google.com.co/books/about/Heuristic\\_Models\\_of\\_Sand\\_Transport\\_in\\_th.html?id=DqPfGwAACAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.co/books/about/Heuristic_Models_of_Sand_Transport_in_th.html?id=DqPfGwAACAAJ&redir_esc=y)

Dijkstra, H. A., Petersik, P., Hernández-García, E., y López, C. (2019). The Application of Machine Learning Techniques to Improve El Niño Prediction Skill. *Frontiers in Physics*, 7(October), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fphy.2019.00153>

DIMAR-CIOH. (2009). Caracterización físico-biótica del litoral caribe Colombiano Tomo I (DIMAR, Ser, Vol. 1). <https://doi.org/https://doi.org/10.26640/9879589907603.2009>

Estudio semidetallado de suelos del Parque Tayrona, departamento del Magdalena. (1975). Recuperado de <http://catalogo.sgc.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=13638>

Euscátegui, C., y Hurtado, G. (2011). Análisis del impacto del fenómeno “la niña” 2010-2011 en la hidroclimatología del país. Análisis del impacto del fenómeno “la niña” 2010-2011 en la hidroclimatología del país, (20), 32. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/418818/Análisis+Impacto+La+Niña.pdf/640a4a18-4a2a-4a25-b7d5-b3768e0a768a>

Fraile Jurado, P., y Díaz Fernández, M. (2018). ESCALA, ESFUERZO DIGITALIZADOR Y

FRACTALIDAD EN LA LÍNEA DE COSTA. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica, 253–277. Recuperado de <http://www.geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/568/464>

Franco-Herrera, A. (2005). Oceanografía de la ensenada de Gaira El Rodadero, más que un centro turístico en el Caribe colombiano (Primera; M. D. P. Osorio Vélez, Ed.). Recuperado de [https://www.utadeo.edu.co/sites/tadeo/files/node/publication/field\\_attached\\_file/pdf-oceanografia\\_de\\_la\\_ensenada\\_del\\_gaira\\_-pag.pdf](https://www.utadeo.edu.co/sites/tadeo/files/node/publication/field_attached_file/pdf-oceanografia_de_la_ensenada_del_gaira_-pag.pdf)

François Thomas, Y., Nicolae Lerma, A., y Posada Posada, B. O. (2012). Atlas climatológico del mar Caribe colombiano (Serie de P). Recuperado de [http://cinto.invemar.org.co/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/293f4fe3-0854-4763-8e4e-60f10c44b0d2/Atlas climatológico del Mar Caribe Colombiano?ticket=TICKET\\_5dd87b2934c3895f02de7a6203fcfccaefbcfc94](http://cinto.invemar.org.co/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/293f4fe3-0854-4763-8e4e-60f10c44b0d2/Atlas%20climatol%C3%B3gico%20del%20Mar%20Caribe%20Colombiano?ticket=TICKET_5dd87b2934c3895f02de7a6203fcfccaefbcfc94)

Gutiérrez Gutiérrez, O. Q. (2011). Desarrollo de una metodología para el estudio de la morfología de playas basado en mapas auto-organizativos de imágenes digitales : tesis doctoral. En Tesis Doctorales en Red (TDR). Recuperado de <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/1296>

Guza, R. T., y Inman, D. L. (1975). Edge waves and beach cusps. Journal of Geophysical Research, 80(21), 2997–3012. <https://doi.org/10.1029/jc080i021p02997>

Hurtado Moreno, G., González, O. C., Cadena, M., Benavides, H., Rúiz, F., Montealegre, E., ... Montoya Ramírez, R. D. (2017). ATLAS CLIMATOLÓGICO DE COLOMBIA. Recuperado de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023777/CLIMA.pdf>

Ibáñez, J. J., y Manríquez Cosío, F. J. (2011). Geoformas de las Líneas de Costa Generadas por la Dinámica Marina (WRB-FAO 2000) | Un Universo invisible bajo nuestros pies.

Recuperado el 12 de agosto de 2019, de madrid Blogs website:

<http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2011/01/19/137847>

Ibarra Marinas, D., y Belmonte Serrato, F. (2017). Comprendiendo el litoral : Dinámica y procesos (1ª Edición; Editum, Ed.). Recuperado de <https://www.age-geografia.es/site/wp-content/uploads/2017/12/IbarraBelmonte.pdf>

IDEAM. Decreto No. 1729 de 2002 - Cuencas hidrograficas. , IDEAM § (2002).

IDEAM. (2010). Los Litorales (LT). En Sistemas morfogénicos del territorio colombiano (p. 252). Recuperado de [http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021769/Sistemas\\_Morf\\_Territ\\_Col\\_Ideam\\_Cap6.pdf](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021769/Sistemas_Morf_Territ_Col_Ideam_Cap6.pdf)

IDEAM. (2018). Atlas Climatológico de Colombia 1981 - 2010. Recuperado el 10 de octubre de 2019, de <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html>

IGAC – Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (1993). Magdalena, Características Geográficas (Subdirección de geografía, Ed.). Bogota: división de estudios geográficos básicos (p.147).

INGEOMINAS, Ecopetrol ICP, y INVEMAR. (2008). Evolución Geohistórica De La Sierra Nevada De Santa Marta. Geomorfología de la zona costera y piedemonte occidental. En Convenio 006-05 INGEOMINAS – ECOPETROL ICP – INVEMAR. Recuperado de <http://recordcenter.sgc.gov.co/B12/23008002524327/documento/Pdf/2105243271101000.pdf>



Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Subdirección de Agrología. (2009). Estudio General de suelos y Zonificación de Tierras Departamento del Magdalena Escala 1:100.000.

INVEMAR-GEO. (2014). Evolución reciente de la línea de costa entre isla de Salamanca y el Parque Nacional Natural Tayrona (departamento del Magdalena). Recuperado de [http://cinto.invemar.org.co/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/618ea746-a7ec-4e66-80bb-badcf0e816b5/EVOLUCIÓN RECIENTE DE LA LÍNEA DE COSTA ENTRE ISLA DE SALAMANCA Y EL PARQUE NACIONAL NATURAL TAYRONA \(MAGDALENA\)?ticket=TICKET\\_5dd87b2934c3895f02de7a6203fc](http://cinto.invemar.org.co/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/618ea746-a7ec-4e66-80bb-badcf0e816b5/EVOLUCIÓN_RECIENTE_DE_LA_LÍNEA_DE_COSTA_ENTRE_ISLA_DE_SALAMANCA_Y_EL_PARQUE_NACIONAL_NATURAL_TAYRONA_(MAGDALENA)?ticket=TICKET_5dd87b2934c3895f02de7a6203fc)

INVEMAR. (2016). Informe del esato de los Ambientes Y Recursos Marinos Y Costeros En Colombia Año 2015. En Serie de Publicaciones Periódicas No. 3. Recuperado de [http://www.invemar.org.co/documents/10182/14479/ier\\_2015\\_baja.pdf/f225fda1-eb06-44ad-9d60-535909e85cc6](http://www.invemar.org.co/documents/10182/14479/ier_2015_baja.pdf/f225fda1-eb06-44ad-9d60-535909e85cc6)

Köppen, W. (1936). Das geographische System der Klimate. En R. Geiger (Ed.), Handbuch der Klimatologie (v. 1, Vol. 43). <https://doi.org/10.2307/200498>

Kumer Ghosh, M., Kumar, L., y Roy, C. (2015). Monitoring the coastline change of Hatiya Island in Bangladesh using remote sensing techniques. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 101, 137–144. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.12.009>

Kumer, M., Kumar, L., y Roy, C. (2015). Monitoring the coastline change of Hatiya Island in Bangladesh using remote sensing techniques. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 101, 137–144. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.12.009>

Lamolda, M. A. (2000). Programa internacional de correlación geológica : desarrollo y

perspectivas en España, 25° aniversario del comité español, Cuenca, 28-30 de septiembre de 2000. Instituto Tecnológico Geominero de España.

Manzolli, R. P., Portz, L., Villate Daza, D. A., Contreras, M. D., Padilla Jimenez, L. C., y Alcántara-carrió, J. (2020). Magnitude and causes of beach accretion on the eastern margin of the Tayrona National Natural Park ( Colombian Caribbean ). Journal of Coastal Research, 299–303. <https://doi.org/10.2112/SI95-058.1>

Marriaga, L. (2009). caracterización físico-biótico del litoral del departamento del magdalena. En Caracterización físico-biótica del litoral caribe colombiano. Tomo I (DIMAR, p. 154). Recuperado de [https://www.cioh.org.co/dev/publicaciones/pdf/caracterizacion\\_tomo\\_i\\_04\\_capituloIV.pdf](https://www.cioh.org.co/dev/publicaciones/pdf/caracterizacion_tomo_i_04_capituloIV.pdf)

Molina, L. ., Pérez, F., Martínez, J., Franco, J., Marín, L., González, J., y Carvajal, J. (1998). Atlas De Geomorfología y Aspectos Erosivos del Litoral Caribe Colombiano (pp. 1–73). pp. 1–73. Recuperado de <http://geonodesiam.invemar.org.co/documents/4363>

Molina Tinjacá, B. (2014). Análisis Hidrológico De Los Principales Cuerpos De Agua Presentes En El Área Del Parque Nacional Natural Tayrona (PNNT) (Universidad Militar Nueva Granada). Recuperado de [http://www.ideam.gov.co/documents/24024/36843/Decreto\\_1729\\_de\\_2002.pdf/59ad8528-1179-4fd7-9075-aed67fce2b40#:~:text=Entiéndese por cuenca u hoya hidrográfica el área de aguas,de aguas%2C en un pantano](http://www.ideam.gov.co/documents/24024/36843/Decreto_1729_de_2002.pdf/59ad8528-1179-4fd7-9075-aed67fce2b40#:~:text=Entiéndese por cuenca u hoya hidrográfica el área de aguas,de aguas%2C en un pantano)

Montealegre, J. E. (2014). Actualización del componente Meteorológico del modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El niño y La niña en colombia, como insumo para el Atlas Climatológico. Recuperado de

<http://www.ideam.gov.co/documents/21021/440517/Actualizacion+Modelo+Institucional+El+Niño+-+La+Niña.pdf/02f5e53b-0349-41f1-87e0-5513286d1d1d>

Montes, C., Bayona, G., Jaramillo, C., Ojeda, C., Molina, M., y Herrera, F. (2005). Uplift of the Sierra Nevada de Santa Marta and subsidence in the Cesar- Rancheria valley : Rigid-beam pivot model. 6th International Sympous on Andean Geodynamics, 520–523. Recuperado de [http://www.researchgate.net/profile/Fabiany\\_Herrera/publication/32967501\\_Uplift\\_to\\_the\\_sierra\\_Nevada\\_de\\_Santa\\_Marta\\_and\\_subsidence\\_in\\_the\\_Cesar-Rancheria\\_valley\\_\\_rigid-beam\\_pivot\\_model/links/542e8aba0cf27e39fa96254d.pdf](http://www.researchgate.net/profile/Fabiany_Herrera/publication/32967501_Uplift_to_the_sierra_Nevada_de_Santa_Marta_and_subsidence_in_the_Cesar-Rancheria_valley__rigid-beam_pivot_model/links/542e8aba0cf27e39fa96254d.pdf)

Morales, R., Canon, M., y Gonzales, M. (2001). Caracterizacion oceanografica y meteorologica del Caribe colombiano. Centro de investigaciones oceanograficas e hidrograficas, 114.

Moreno Blasco, L. J. (2015). PERFIL DE PLAYAS SUSTENTADAS: ESTUDIO HIDRODINÁMICO Y EXPERIMENTAL DIRECTRICES DE DISEÑO. Recuperado de [http://oa.upm.es/39111/1/Luis\\_Moreno\\_Blasco.pdf](http://oa.upm.es/39111/1/Luis_Moreno_Blasco.pdf)

Navarrete-Ramírez, S. M. (2014). Protocolo indicador. Variación línea de costa: perfiles de playa. Indicadores de monitoreo biológico del subsistema de áreas marinas protegidas(SAMP). En Serie de publicaciones generales del Invemar. (Vol. 73). Recuperado de <https://www.oceandocs.org/bitstream/handle/1834/6648/08>  
[ProtocoloIndicadorLíneadeCosta.pdf?sequence=1&isAllowed=y](#)

Oficina de prensa del IPCC. (2019). COMUNICADO DE PRENSA DEL IPCC. Recuperado de [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/09/SROCC\\_PressRelease\\_ES.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/09/SROCC_PressRelease_ES.pdf)

Ortiz-Royero, J. C., Otero, L. J., Restrepo, J. C., Ruiz, J., y Cadena, M. (2013). Cold fronts in the

Colombian Caribbean Sea and their relationship to extreme wave events. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(11), 2797–2804. <https://doi.org/10.5194/nhess-13-2797-2013>

Ortiz Royero, J. C. (2007). Huracanes y tormentas tropicales en el Mar Caribe colombiano desde 1900. *Boletín Científico CIOH*, 60(25), 54–60. Recuperado de [https://www.uninorte.edu.co/documents/266486/0/3\\_Ortiz\\_2007.pdf](https://www.uninorte.edu.co/documents/266486/0/3_Ortiz_2007.pdf)

Ortiz Royero, J. C., López Martínez, F., Díaz Estrada, E., y Bacca Arango, L. F. (2008). Estudio del Oleaje Generado por el Huracán Joan en la Costa Caribe Colombiana en 1988, Incluyendo a la Isla Andrés. *Revista Colombiana de Física*, 40(2), 444–446. Recuperado de <http://weather.unisys.com/hurricane/atlantic/index.html>.

Parques Nacionales Naturales de Colombia. (2018). RUNAP. Recuperado el 19 de febrero de 2019, de <http://runap.parquesnacionales.gov.co/area-protegida/25>

Parques Nacionales Naturales de Colombia. (2019). Parque Nacional Natural Tayrona | Parques Nacionales Naturales de Colombia. Recuperado el 13 de febrero de 2019, de <http://www.parquesnacionales.gov.co/portal/es/ecoturismo/region-caribe/parque-nacional-natural-tayrona/>

Peña Guerrero, M. (2017). CLASIFICACIÓN MORFOLOGÍCA E HIDRODINÁMICA DE LAS PLAYAS DEL CARIBE COLOMBIANO (universidad del norte). Recuperado de <http://manglar.uninorte.edu.co/jspui/bitstream/10584/7944/1/131551.pdf>

PMPNN-Tayrona. (2006). PLAN DE MANEJO PARQUE NACIONAL NATURAL TAYRONA. Recuperado de <http://www.parquesnacionales.gov.co/portal/wp->

content/uploads/2013/12/PMPNNTayrona.pdf

- Posada Posada, B. O., y Henao Pineda, W. (2008). Diagnóstico de la erosión en la zona costera del caribe colombiano. Recuperado de <https://www.oceandocs.org/handle/1834/6682>
- Poveda, G., y Mesa, Ó. J. (1996). Las fases extremas del fenómeno ENSO ( El Niño y La Niña ) y su influencia sobre la hidrología de Colombia. Ingeniería Hidráulica en México, XI(October 2014), 21–37. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/233921803\\_Las\\_fases\\_extremas\\_del\\_fenomeno\\_ENSO\\_El\\_Nino\\_y\\_La\\_Nina\\_y\\_su\\_influencia\\_sobre\\_hidrologia\\_de\\_Colombia](https://www.researchgate.net/publication/233921803_Las_fases_extremas_del_fenomeno_ENSO_El_Nino_y_La_Nina_y_su_influencia_sobre_hidrologia_de_Colombia)
- Rangel-Buitrago, N., Correa, I. D., Anfuso, G., Ergin, A., y Williams, A. T. (2013). Assessing and managing scenery of the Caribbean Coast of Colombia. *Tourism Management*, 35, 41–58. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2012.05.008>
- Rangel-Buitrago, Nelson. (2009). Contribución antropogénica a los cambios geomorfológicos y evolución reciente de la costa Caribe Colombiana. *Gestión y Ambiente*, 12(2), 43–56. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/18439/1/14253-42488-1-PB.pdf>
- Rangel-Buitrago, Nelson G., y Posada-Posada, B. O. (2005). Geomorfología y procesos erosivos en la costa norte del departamento de córdoba, caribe colombiano (sector paso nuevo-cristo rey). *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 34(895), 101–119.
- Rangel-Buitrago, Nelson G., Thomas, T., Phillips, M. R., Anfuso, G., y Williams, A. T. (2016). Wave Climate, Storminess, and Northern Hemisphere Teleconnection Patterns Influences: The Outer Bristol Channel, South Wales, U.K. *Journal of Coastal Research*, 32(6), 1262–1276. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-15-00166.1>

Rangel-Buitrago, Nelson Guillermo, Anfuso, G., y Thomas, A. (2015). Ocean & Coastal Management Coastal erosion along the Caribbean coast of Colombia : Magnitudes , causes and management. Ocean and Coastal Management, 114, 129–144.  
<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.06.024>

Rangel-Buitrago, Nelson Guillermo, y Posada Posada, B. O. (2013). DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD Y EL RIESGO COSTERO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS SIG Y MÉTODOS MULTICRITERIO. 29–42. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4866020.pdf>

Rangel-Buitrago, Nelson, Williams, A., y Anfuso, G. (2017). Hard protection structures as a principal coastal erosion management strategy along the Caribbean coast of Colombia. A chronicle of pitfalls. Ocean and Coastal Management.  
<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.04.006>

Rangel Buitrago, N. G. (2008). Evolución Histórica Y Geomorfología De La Línea De Costa Adyacente a La Sierra Nevada De Santa Marta Entre El Cabo San Juan De Guía Y El Río Cañas. Recuperado de <http://recordcenter.sgc.gov.co/B11/23008000024325/Documento/pdf/2105243251101000.pdf>

Restrepo Ángel, J. D. (2005). Los sedimentos del río Magdalena: reflejo de la crisis ambiental (1a ed.; J. D. Restrepo Ángel, Ed.). Recuperado de [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=HKV1j3wKT2wC&oi=fnd&pg=PA189&dq=cuencas hidrográficas&fbclid=IwAR3OdQIG8GwPKUGYG5\\_KZnVJdiNRQK0Xozkb7TY10H50mW6s4o4LM](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=HKV1j3wKT2wC&oi=fnd&pg=PA189&dq=cuencas hidrográficas&fbclid=IwAR3OdQIG8GwPKUGYG5_KZnVJdiNRQK0Xozkb7TY10H50mW6s4o4LM)

eTJJLE#v=onepage&q=cuencas hidrográficas&f=false

Ricaurte-Villota, C., Coca-Domínguez, O., González, M. E., Bejarano-Espinosa, M., Morales, D.

F., Correa-Rojas, C., ... Arteaga, M. E. (2018). Amenaza y vulnerabilidad por erosión costera en Colombia: enfoque regional para la gestión del riesgo. En *Journal of Petrology* (Instituto, Vol. 369). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Ricaurte-Villota, C., y M.L. Bastidas Salamanca (Eds.). (2017). Regionalización oceanográfica:

una visión del Caribe. Recuperado de

[http://www.invemar.org.co/documents/10182/14479/regionalizacion\\_oceanografica\\_baja.pdf](http://www.invemar.org.co/documents/10182/14479/regionalizacion_oceanografica_baja.pdf)

Rubio García, G. (2017). ¿Por qué se mueve la línea de costa? Recuperado de

[https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/images/revista/68\\_3/PDF/68\\_3\\_muevelineacosta.pdf](https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/images/revista/68_3/PDF/68_3_muevelineacosta.pdf)

RUNAP. (2016). RUNAP :: Parques Nacionales Naturales de Colombia. Recuperado el 22 de febrero de 2019, de <http://runapadmin.parquesnacionales.gov.co/reportes>

Säenz-Reyes, J. A., Ríos-Reyes, C. A., y Castellanos-Alarcón, O. M. (2017). Geological itinerary of the coastal strip between the Simon Bolivar International Airport and the Taganga Bay, Santa Marta Geotectonic Province. *Revista Boletín de Ciencias de la Tierra*, 42, 5–24. <https://doi.org/10.15446/rbct.n42.42.44920>

Sanchez Ospina, L. F., y Vega Romero, D. C. (2009). FORMULACIÓN DEL PLAN DE EMERGENCIAS PARA EL PARQUE NACIONAL NATURAL TAYRONA COMO HERRAMIENTA TÉCNICA PARA EL FORTALECIMIENTO DEL PLAN DE MANEJO

DEL ÁREA PROTEGIDA. Recuperado de

[https://l.facebook.com/l.php?u=https%3A%2F%2Fciencia.lasalle.edu.co%2Fcgi%2Fviewcontent.cgi%3Farticle%3D1078%26context%3Ding\\_ambiental\\_sanitaria%26fbclid%3DIwAR0jAD3If3tXMc6exSUsQHJL7Qk\\_28MdeRd2WaXttCA-9EJt9xXzDnmUemM&h=AT32NSaizVzwTK1VotdhZW07m7x19jli1fi](https://l.facebook.com/l.php?u=https%3A%2F%2Fciencia.lasalle.edu.co%2Fcgi%2Fviewcontent.cgi%3Farticle%3D1078%26context%3Ding_ambiental_sanitaria%26fbclid%3DIwAR0jAD3If3tXMc6exSUsQHJL7Qk_28MdeRd2WaXttCA-9EJt9xXzDnmUemM&h=AT32NSaizVzwTK1VotdhZW07m7x19jli1fi)

Stronkhorst, J., Levering, A., Hendriksen, G., Rangel-Buitrago, N., y Appelquist, L. R. (2018).

Regional coastal erosion assessment based on global open access data: a case study for Colombia. *Journal of Coastal Conservation*, 22(4), 787–798.

<https://doi.org/10.1007/s11852-018-0609-x>

Tarbuck, E. J., Lutgens, F. K., y Tasa, D. (2005). *Ciencias de la Tierra. Una introducción a la*

geología física. Recuperado de [http://www.xeologosdelmundu.org/wp-](http://www.xeologosdelmundu.org/wp-content/uploads/2016/03/TARBUCK-y-LUTGENS-Ciencias-de-la-Tierra-8va-ed.-1.pdf)

[content/uploads/2016/03/TARBUCK-y-LUTGENS-Ciencias-de-la-Tierra-8va-ed.-1.pdf](http://www.xeologosdelmundu.org/wp-content/uploads/2016/03/TARBUCK-y-LUTGENS-Ciencias-de-la-Tierra-8va-ed.-1.pdf)

Thanh Thoai, D., Nguyet Dang, A., y Thi kim oanh, N. (2019). Analysis of coastline change in

relation to meteorological conditions and human activities in Ca mau cape , Viet Nam.

*Ocean and Coastal Management*, 171(February 2018), 56–65.

<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.01.007>

Thieler, E. R., y Danforth, W. W. (1994). Historical Shoreline Mapping ( II ): Application of the

Digital Shoreline Mapping and Analysis Systems ( DSMS / DSAS ) to Shoreline Change

Mapping in Puerto Rico. *Journal of Coastal Research*, 10(3), 600–620. Recuperado de

[www.jstor.org/stable/4298256](http://www.jstor.org/stable/4298256)

Thornthwaite, C. W. (1948). An Approach toward a Rational Classification of Climate.

*Geographical Review*, 38(1), 55–94. <https://doi.org/10.2307/210739>



- Torres, G. M. (2015). Solo el 16 por ciento de los suelos de Colombia está blindado contra la “depredación ambiental” del hombre. Recuperado el 6 de octubre de 2019, de Instituto Geográfico Agustín Codazzi website: <https://igac.gov.co/noticias/solo-el-16-por-ciento-de-los-suelos-de-colombia-esta-blindado-contra-la-depredacion>
- Trenberth, K., y National Center for Atmospheric Research Staff (Eds). (2019). The Climate Data Guide: Nino SST Indices (Nino 1+2, 3, 3.4, 4; ONI and TNI). Recuperado el 7 de noviembre de 2019, de Climate Data Guide website: <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/nino-sst-indices-nino-12-3-34-4-oni-and-tni>.
- Tschanz, C. M., Jimeno V., A., Cruz B., J., y U.S. Geological Survey. (1969). Mapa de reconocimiento geológico de la Sierra Nevada de Santa Marta. Esc: 1:200.000. 1969. Recuperado el 16 de noviembre de 2019, de Ingeominas. website: <https://catalogo.sgc.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=21646>
- Tschanz, C. M., Marvin, R. F., Cruz B., J., Mehnert, H. H., y Cebula, G. T. (1974). Geological Society of America Bulletin Geologic Evolution of the Sierra Nevada de Santa Marta , Northeastern Colombia. Geological Society of America Bulletin, 85(2), 273–284. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1974\)85<273](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1974)85<273)
- Úbeda, I. L. (2016). CLASIFICACIÓN MORFOLÓGICA DE LAS PLAYAS Y MODELADO DEL PERFIL TRANSVERSAL EN VALENCIA, ALICANTE Y MURCIA (universidad de alicante). Recuperado de [https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/58897/1/tesis\\_lopez\\_ubeda.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/58897/1/tesis_lopez_ubeda.pdf)
- UICN. (2019a). Acerca de la UICN. Recuperado el 22 de febrero de 2019, de <https://www.iucn.org/es/acerca-de-la-uicn>

UICN. (2019b). Categorías de manejo de áreas protegidas de UICN. Recuperado el 22 de febrero de 2019, de <https://www.iucn.org/es/regiones/américa-del-sur/nuestro-trabajo/áreas-protegidas/categorías-de-manejo-de-áreas-protegidas-de-uicn>

UNGRD. (2016). Fenomeno El Niño analisis comparativo 1997-1998 // 2014-2016. Recuperado de [http://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/20564/Fenomeno\\_nino-2016.pdf?sequence=3&isAllowed=y](http://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/20564/Fenomeno_nino-2016.pdf?sequence=3&isAllowed=y)

Universidad de alcalá. (s/f). GEOLOGÍA FÍSICA. II. LAS FORMAS DEL RELIEVE. 6. Modelado litoral. Recuperado el 27 de enero de 2020, de Universidad de alcalá website: [https://portal.uah.es/portal/page/portal/GP\\_EPD/PG-MA-ASIG/PG-ASIG-65108/TAB42351/GF-II-6.pdf](https://portal.uah.es/portal/page/portal/GP_EPD/PG-MA-ASIG/PG-ASIG-65108/TAB42351/GF-II-6.pdf)

USGS. (2018). Digital Shoreline Analysis System ( DSAS ) Version 5.0 User Guide. En Open-File Report 2018-1179. <https://doi.org/https://doi.org/10.3133/ofr20181179>

Vargas Cuervo, G. (2012). Procesos de Erosión y Sedimentación Costera entre Bocas de Ceniza y Puerto Colombia, Colombia. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/281444671\\_Procesos\\_de\\_Erosion\\_y\\_Sedimentacion\\_Costera\\_entre\\_Bocas\\_de\\_Ceniza\\_y\\_Puerto\\_Colombia\\_Colombia](https://www.researchgate.net/publication/281444671_Procesos_de_Erosion_y_Sedimentacion_Costera_entre_Bocas_de_Ceniza_y_Puerto_Colombia_Colombia)

Wright, L. D., May, S. K., Short, A. D., y Green, M. O. (1984). Beach and Surf Zone Equilibria and Response Times. 2150–2164. <https://doi.org/10.1061/9780872624382.145>

### 13. Anexo

#### 13.1 Tablas con las distancias entre cada perfil de playa

Tabla 13.1

*Distancia aproximada entre cada perfil de la playa Piscina*

<b>Playa</b>	<b>Puntos</b>	<b>Distancia (m)</b>
Piscina	Perfil 1-2	126,48
	Perfil 2-3	70,106
	Perfil 3-4	43,847
	Perfil 4-5	37,895
	Perfil 5-6	39,474
	Promedio	63,56

Nota: Información Extraída del (Autor)

Tabla 13.2

*Distancia aproximada entre cada perfil de la playa Arenilla*

<b>Playa</b>	<b>Puntos</b>	<b>Distancia (m)</b>
Arenilla	Perfil 1-2	78,909
	Perfil 2-3	26,697
	Promedio	52,80

Nota: Información Extraída del (Autor)

Tabla 13.3

*Distancia aproximada entre cada perfil de la playa Arrecifes*

<b>Playa</b>	<b>Puntos</b>	<b>Distancia (m)</b>
Arrecifes	Perfil 1-2	21,299
	Perfil 2-3	90,973
	Perfil 3-4	106,28
	Perfil 4-5	109,44
	Perfil 5-6	103,71
	Perfil 6-7	82,236
	Perfil 7-8	75,348
	Perfil 8-9	53,577
	Perfil 9-10	120,02
	Perfil 10-11	44,014
	Perfil 11-12	66,187
	Perfil 12-13	95,559
	Promedio	80,72

Nota: Información Extraída del (Autor)

Tabla 13.4

*Distancia aproximada entre cada perfil de la playa Príncipe San Felipe*

<b>Playa</b>	<b>Puntos</b>	<b>Distancia (m)</b>
Príncipe San Felipe	Perfil 1-2	5,596
	Perfil 2-3	11,69
	Perfil 3-4	15,553
	Perfil 4-5	16,066
	Perfil 5-6	12,807
	Perfil 6-7	22,507
	Perfil 7-8	46,877
	Perfil 8-9	40,482
	Promedio	21,45

Nota: Información Extraída del (Autor)

Tabla 13.5

*Distancia aproximada entre cada perfil de la playa Piscina*

Playa	Puntos	Distancia (m)
Piscinita	Perfil 1-2	10,541
	Perfil 2-3	13,665
	Perfil 3-4	5,655
	Promedio	9,95

Nota: Información Extraída del (Autor)

Tabla 13.6

*Distancia aproximada entre cada perfil de la playa Cañaveral*

Playa	Puntos	Distancia (m)
Cañaveral	Perfil 1-2	30,944
	Perfil 2-3	64,17
	Perfil 3-4	57,979
	Perfil 4-5	67,206
	Perfil 5-6	52,702
	Perfil 6-7	48,69
	Perfil 7-8	56,886
	Perfil 8-9	39,172
	Perfil 9-10	25,213
	Perfil 10-11	51,385
	Perfil 11-12	23,818
	Perfil 12-13	70,668
	Perfil 13-14	41,163
	Perfil 14-15	32,199
	Perfil 15-16	38,653
	Perfil 16-17	49,936
	Perfil 17-18	71,028
	Perfil 18-19	35,425
	Promedio	47,62

Nota: Información Extraída del (Autor)

**13.2 Artículo: Magnitude and causes of beach accretion on the eastern margin of the Tayrona National Natural Park (Colombian Caribbean).**

**Rogério Portantiolo Manzolli, Luana Portz, Diego Andres Villate Daza, Manuel Díaz Contreras, Laura Carolina Padilla Jimenez, Javier Alcántará-Carrió**

**Journal of Coastal Research SI 95 299–303 (2020).**